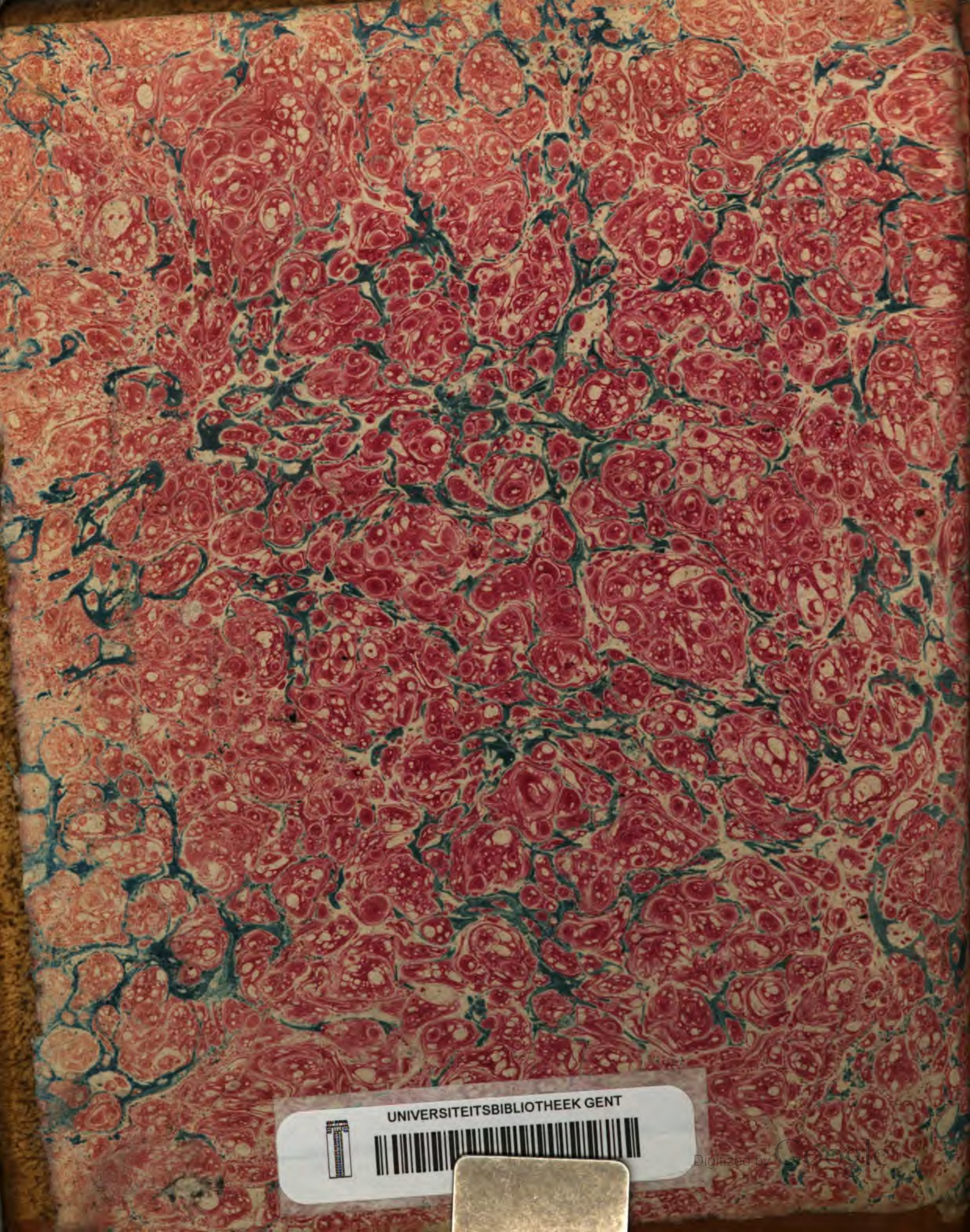



UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK GENT
Digitized by Google



HISTOIRE

DE L'ASTRONOMIE,

DEPUIS 1781 JUSQU'A 1811.

HISTOIRE

DE L'ASTRONOMIE,

DEPUIS 1781 JUSQU'A 1811,

POUR SERVIR DE SUITE A L'HISTOIRE DE L'ASTRONOMIE DE BAILLY.

PAR M. VOIRON,

DOCTEUR de la Faculté des Sciences, Ancien Professeur de Belles-Lettres, actuellement Professeur de Mathématiques transcendantes au Prytanée Militaire.

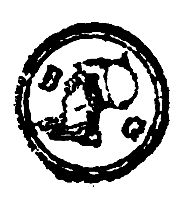
O nuit, que ton langage est sublime pour moi,
Lorsque seul et pensif, aussi calme que toi,
Contemplant les soleils dont ta robe est parée,
J'erre, et médite en paix sous ton ombre sacrée!

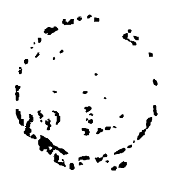
FONTANES, *Essai sur l'Astronomie.*

A PARIS,

CHEZ COURCIER, Imprimeur-Libraire pour les Mathématiques, quai des Augustins, n° 57.

1810.





A MONSIEUR LAPLACE,

COMTE de l'Empire, Chancelier du Sénat-Conservateur, Grand-Officier de la Légion d'Honneur, Membre de l'Institut et du Bureau des Longitudes de France, des Sociétés Royales de Londres et de Gottingue, des Académies des Sciences de Russie, de Prusse, de Suède, d'Italie, de Bavière, etc.

MONSIEUR,

SI j'eusse *été* le contemporain du grand Newton et l'Historien des découvertes astronomiques de son temps, j'aurois fait hommage de mes essais sur cette époque célèbre, à l'auteur immortel du *Livre des Principes*.

Je viens de tracer le tableau de la période astronomique présente, et par un même sentiment, mes regards se tournent vers l'auteur de la *Mécanique céleste*.

Vous êtes aujourd'hui, Monsieur, pour l'Astronomie,

ce qu'étoit Newton vers la fin du dix-septième siècle ; c'est par le génie qui l'inspiroit que vous l'avez perfectionnée.

L'Histoire de ses progrès depuis trente ans est presque toute entière celle de vos travaux ou de leur utile influence. C'est donc à vous, Monsieur, que je devois la présenter ; je devois en faire hommage au grand Géomètre, à l'ami le plus zélé des Sciences, à l'un des principaux soutiens de l'Astronomie en France.

L'honneur que vous m'avez fait d'en agréer la dédicace est pour moi son premier succès ; il m'autorise à placer à la tête de mon ouvrage un nom qui peut en être l'appui. Il me procure encore un avantage auquel j'attache un grand prix, celui de pouvoir exprimer publiquement les sentimens d'admiration que m'inspirent vos sublimes découvertes.

Je suis avec le plus profond respect,

MONSIEUR,

Votre très-humble et très-obéissant serviteur,

VOIRON.

PRÉFACE.

Plusieurs auteurs ont publié à diverses époques, des fragmens relatifs à l'Histoire de l'Astronomie; Riccioli dans son nouvel Almageste, Vossius dans son Traité des Sciences Mathématiques, Gassendi dans ses Vies de Peurbach, de Regiomontanus, de Copernic et de Tycho, Dominique Cassini dans un précis sur l'origine et les progrès de l'Astronomie; mais le premier qui paroisse avoir envisagé son Histoire d'une manière *générale*, est Jean-Frédéric Weidler, dont l'ouvrage parut en 1741, sous ce titre, *Jo-Friderici Weidleri Historia astronomica, sive de ortu et progressu Astronomiæ liber singularis*. Il le composa pour servir de supplément à ses Leçons d'Astronomie et de Physique.

Georges Costard fit aussi paroître à Londres, en 1767, une Histoire de l'Astronomie, dont il avait déjà donné quelques extraits dans des lettres publiées en 1746 et 1748.

Enfin parut en France la grande Histoire de l'Astromie, de Bailly, publiée dans les années 1775, 1779 et 1782.

Les ouvrages de Weidler et de Costard sont remarquables par beaucoup d'érudition ; celui de Bailly l'est davantage par la beauté du style et l'élévation des pensées. Il est écrit d'une manière très-intéressante et propre à faire aimer l'Astronomie ; on lui reproche quelques idées paradoxales et surtout son Système d'une Astronomie antédiluvienne, dont il croyoit retrouver les débris dans celle des anciens peuples de la Chaldée, de l'Egypte et de la Grèce ; cependant son Histoire de l'Astronomie considérée dans son ensemble, dans le grand nombre de faits importans qu'elle renferme, et dans la manière dont ils sont présentés, sera toujours regardée comme l'un des plus beaux ouvrages qui nous restent du siècle dernier.

Cette Histoire se termine à l'année 1781. Depuis cette époque, de grandes découvertes, de grandes opérations ont été faites, tous les phénomènes ont été soumis à de nouvelles théories, des tables plus exactes ont été formées, les astronomes ont généralement introduit dans leurs observations et dans leurs calculs une précision inconnue avant l'application de l'analyse aux mouvemens célestes. C'est ce tableau qui manque aujourd'hui à l'Histoire de l'Astronomie.

Lalande

Lalande a donné dans sa Bibliographie Astronomique, qu'il a publiée en 1803, une Histoire abrégée de l'Astronomie depuis 1781. Cette Histoire consiste dans un grand nombre de notes, très-propres à donner des renseignemens utiles sur les travaux des Astronomes; mais il est à présumer qu'en les considérant sous le rapport littéraire, l'auteur lui-même les a regardées plutôt comme les matériaux d'un ouvrage à faire, que comme les parties d'un ouvrage terminé.

J'ai pensé que la période astronomique qui commence à l'année 1781, période si remplie de résultats importans, devoit être présentée sous des formes régulières, dans un ordre capable de fixer l'attention et d'intéresser; c'est ce que j'ai tenté de faire dans l'Histoire de l'Astronomie que je publie aujourd'hui.

Je ne me suis point dissimulé les difficultés de l'entreprise; il s'agissoit de développer les derniers progrès de l'une des plus belles connoissances de l'homme, arrivée au plus haut degré de la perfection, et toujours guidée dans sa marche, par la Géométrie, à travers les routes les plus difficiles; je ne me flatte point d'avoir rempli cette tâche importante d'une manière qui réponde à la grandeur du sujet; mais je ne croirai pas avoir tout à fait manqué le but que je me suis proposé,

si cette Histoire peut être lue avec quelque intérêt par les amis de l'Astronomie, par les jeunes gens qui l'étudient aujourd'hui dans les écoles publiques; si sa lecture, mêlée quelquefois avec celle des ouvrages qui leur servent de guides dans l'étude de cette Science, leur inspire le desir de connoître et d'approfondir un jour les ouvrages de nos grands Géomètres.

En continuant l'*Histoire de l'Astronomie de Bailly*, j'avois encore à craindre un parallèle dangereux; mais si je n'ai pu prétendre au mérite brillant de mon prédécesseur, j'ai cherché du moins, autant que je l'ai pu, celui de l'exactitude dans l'exposition des faits que j'ai présentés.

Pour prendre une idée juste de l'état actuel de l'Astronomie, j'ai cru devoir lire et méditer plus particulièrement les derniers ouvrages des Astronomes et des Géomètres français et quelques-uns de ceux des Astronomes étrangers. J'ai cru devoir consulter aussi les maîtres de la science. Je leur dois des remercîmens de ce qu'ils ont bien voulu, malgré leurs travaux beaucoup plus élevés, prendre assez d'intérêt à mon ouvrage, pour l'examiner dans diverses parties et me communiquer des remarques importantes qui pouvoient l'améliorer. Je dois beaucoup à l'amitié de M. *Bouvard*, directeur de l'Observatoire Impérial, qui s'est donné la peine de

le suivre avec attention pendant tout le cours de l'impression; j'ai puisé dans de bonnes sources, j'ai reçu des conseils utiles; il me reste à savoir si j'en ai tiré quelque avantage.

Si dans le grand nombre de faits que j'ai rassemblés pour composer cet ouvrage, il m'en est échappé qui puissent intéresser quelques savans connus, je les prie de regarder ces omissions comme involontaires, et de croire que je n'aurai rien de plus à cœur que de chercher l'occasion et les moyens de les réparer.

TABLE DES ARTICLES.

PREMIÈRE PARTIE.

Découvertes faites par l'observation.

DEUXIÈME PARTIE.

SECTION PREMIÈRE.

DEUXIÈME SECTION.

TROISIÈME PARTIE.

PREMIERE SECTION.

DEUXIÈME SECTION.

TROISIÈME SECTION.

FIN DE LA TABLE DES ARTICLES.

ERRATA.

Page 6, ligne 9, *au lieu de* Greenwick, *lisez* Greenvich.
Page 85, ligne 30, *id.*
Page 142, ligne 20, *id.*
Page 7, ligne 17, *au lieu de* Boscowick, *lisez* Boscovich.
Page 10, ligne 4, *id.*
Page 9, ligne 6, *après ces mots* le savant élève d'Euler, *lisez* M. Lexel.
Page 10, ligne 12, *au lieu de* Biot et Arago; Flaugergues, *lisez* Biot, Arago, Flaugergues.
Page 25, ligne 2 de la note, *au lieu de* son volume est à 80, 49, *lisez* son volume est 80, 49.
Page 64, ligne 9, *au lieu de* Forence, *lisez* Florence.
Page 70, ligne 5 de la note, *au lieu de* $4 + 3 \times^5$, *lisez* $4 + 3 \times 2^5$.
Page 77, ligne 27, *au lieu de* celle; *lisez* celles.
Page 86, ligne 1, *au lieu de* Seerberg, *lisez* Seeberg.
Page 91, ligne 3, *au lieu de* enflammé, *lisez* embrâsé.
Page 120, ligne 28, *au lieu de* moyen mouvement. Si l'on, *lisez* moyen mouvement, si l'on.
Page 124, ligne 2, *au lieu de* se sont partagés, *lisez* se sont partagé.
Page 143, ligne 24, *au lieu de* à longues périodes, *lisez* à longue période.
Page 161, ligne 8 de la note, *au lieu de* donnés, *lisez* donnée.
Page 164, ligne 4 de la note, *au lieu de* ynthèse, *lisez* Synthèse.
ligne 5 de la note, *au lieu de* explique, *lisez* qu'il explique.
Page 177, ligne 18, *au lieu de* oscillation, *lisez* oscillations,
Page 182, ligne 23, *au lieu de* abcisse, *lisez* abscisse.
Page 235, ligne 10, *au lieu de* Romney-Marsh. Elle, a été trouvée, *lisez* Romney-Marsh, elle a été trouvée.
Page 237, ligne 21, *au lieu de* lhypothèse, *lisez* l'hypothèse.
Page 278, ligne 6 de la note, *au lieu de* $\frac{1}{306}$, *lisez* $\frac{1}{306}$. et ligne 8 *au lieu de* $\frac{1}{321}$, *lisez* $\frac{1}{321}$.
Page 304, ligne 7, *au lieu de* Lepautre, *lisez* Lepaute.
Page 317, ligne 21, *au lieu de* par les sinus, *lisez* par le sinus.
Page 330, ligne 28, *au lieu de* la grande équation, *lisez* la plus grande équation.

HISTOIRE

DE L'ASTRONOMIE,

DEPUIS 1781 JUSQU'A 1811.

NOTICE PRÉLIMINAIRE.

Un savant illustre (1), dont la vie fut consacrée à des travaux utiles, et dont la mort accuse encore une sanglante tyrannie, a tracé le tableau historique de l'une des plus hautes connoissances de l'homme, tableau riche et varié, dans lequel il a suivi la science astronomique, depuis son origine jusque vers la fin du siècle dernier; ouvrage intéressant dans lequel un style toujours élégant s'est élevé à la hauteur du sujet et des conceptions du génie, où les idées abstraites ont pris souvent des formes sensibles, où la sécheresse et l'aridité des matières les plus épineuses se sont cachées sous la richesse des pensées et des ornemens, où le philosophe peut trouver une lecture agréable, et l'homme du monde une instruction solide.

(1) Jean Sylvain Bailly, né à Paris en 1736, est mort victime du régime révolutionnaire en 1793.

Ce savant, dont le coup d'œil pouvoit embrasser la vaste étendue de la science, a conduit ses lecteurs vers ses dernières limites; il a tracé tout ce que la géométrie a fait pour elle, il a décrit les travaux des hommes qui se sont associés à la gloire de Newton, en étendant les bornes de son empire, ceux des observateurs célèbres à qui l'inspection assidue du ciel a fait découvrir de nouveaux phénomènes, les voyages entrepris pour mesurer la terre et sa distance au soleil.

Après la découverte de l'aberration des étoiles, les solutions du problème des trois corps, de celui de la précession des équinoxes et de la nutation de l'axe de la terre; après l'explication du phénomène des marées, des perturbations de Jupiter et de Saturne, des retards et de l'accélération des comètes dans leur route elliptique et le développement des moyens de prédire leur retour, on pouvoit croire que l'Astronomie, parvenue au dernier période de son élévation, devoit enfin rester stationnaire.

Cependant elle a pris un nouvel essor. Si le siècle dernier a vu moissonner, à des intervalles de temps très-rapprochés, trois grands géomètres, Euler, Clairaut et d'Alembert, deux anciens rivaux de leur gloire leur ont survécu et tiennent encore dans leurs mains le sceptre de Newton. De dignes coopérateurs ont secondé leurs efforts, des observateurs nombreux ont étudié le ciel, des astres inconnus se sont montrés à leurs yeux, et les trente années qui viennent de s'écouler peuvent encore former une période mémorable dans l'Astronomie.

C'est cette période que j'entreprends de parcourir. Je marche dans une route épineuse, en suivant de loin les traces de mon prédécesseur; je me suis attaché à

connoître, autant que je l'ai pu, les travaux des hommes qui, dans ces derniers temps, se sont illustrés dans la carrière de l'Astronomie, à détacher de leurs ouvrages les faits remarquables et les résultats importans que l'histoire doit conserver. C'est l'esprit qui les a dirigés dans leurs recherches, ce sont les obstacles qu'ils ont rencontrés, les précautions dont ils se sont environnés pour les vaincre, que j'ai tâché de saisir et de présenter à mes lecteurs.

En poursuivant l'histoire de l'Astronomie jusqu'au temps présent, j'aurai nécessairement à parler de plusieurs astronomes et géomètres vivans; mais pour le plus grand nombre, le jugement de leurs contemporains a devancé celui de la postérité; c'est en consultant la *renommée* acquise à leurs travaux, que je chercherai à me garantir des reproches d'adulation ou d'injustice.

Pour procéder avec ordre dans le développement des derniers progrès de l'Astronomie, j'exposerai successivement les découvertes faites par l'observation, celles qui sont dues à la théorie, les travaux astronomiques et les différens degrés par lesquels les tables qui doivent représenter l'état des mouvemens célestes sont parvenues à leur perfection actuelle. C'est d'après cette division que j'ai cru pouvoir présenter un aperçu des nouveaux efforts de l'esprit humain, pour reculer les bornes d'une science qui renfermera toujours les plus beaux titres de sa grandeur.

Etat de l'Astronomie en 1781.

Avant d'entrer dans les détails qui peuvent faire connoître les progrès de l'Astronomie depuis 1781, nous

allons jeter un coup d'œil général sur sa situation vers cette époque, et les espérances qu'elle laisse pour l'avenir.

Dans le temps dont nous parlons la plus grande activité régnoit dans tous les Observatoires de l'Europe; les observations étoient discutées et comparées, de grands travaux, de grands calculs étoient entrepris, de toutes parts les registres, les annales du ciel étoient publiés, et les points les plus importans du système du monde approfondis.

En France, le Monnier, ancien coopérateur de Maupertuis dans la mesure du degré terrestre, exécutée vers le cercle polaire, le Monnier qu'avoient illustré cinquante ans de travaux, animoit par ses conseils l'ardeur des jeunes astronomes, et marquoit encore les derniers jours de sa longue carrière, par un grand nombre d'ouvrages utiles. L'auteur de l'histoire des Comètes, le continuateur de Halley, dans la détermination de leurs orbites; Pingré, après ses longs et pénibles voyages, pour les passages de Vénus et la vérification des horloges marines, calculoit toutes les éclipses arrivées dans l'intervalle de mille ans avant l'ère vulgaire, préparoit les annales astronomiques du dix-septième siècle, et ne cessoit encore d'étudier le ciel dans l'Observatoire dont il avoit été le fondateur (1). Jérôme Lalande, passionné pour l'Astronomie, lui consacroit tous ses instans, et par ses observations, ses calculs ou ses écrits, attachoit son nom

(1) L'ancien Observatoire de Sainte-Geneviève, destiné à l'usage de Pingré, vient d'être réparé et muni d'instrumens, par les soins de M. le Chevalier, auteur d'un Voyage dans la Troade; c'est là que cet ami zélé de l'Astronomie, après avoir parcouru l'Europe et cette partie de l'Asie mineure, si célèbre par les souvenirs qu'en ont laissés les poëtes, fait aujourd'hui ses délices des observations et des études astronomiques.

à tous les événemens célestes. M. Messier continuoit d'épier, avec un zèle infatigable, les apparitions des comètes et donnoit souvent sur cet objet l'éveil aux observateurs. Borda perfectionnoit le cercle répétiteur, inventé par Tobie Mayer, et méditoit sur les moyens d'observer la longueur du pendule, avec plus de précision que Bouguer et Mairan. Méchain, dont la méridienne attestera toujours les talens, et conservera glorieusement le souvenir, se faisoit alors connoître par des observations utiles, par des calculs importans sur divers objets astronomiques, et s'ouvroit les portes de l'Académie des Sciences par son travail sur les comètes. D'Agelet, compagnon de voyage de la Peyrouse, et qui sans doute a partagé le sort encore inconnu de cet illustre navigateur, commençoit, à l'Observatoire de l'École Militaire, le grand catalogue d'étoiles, continué depuis par M. le Français-Lalande.

De profonds géomètres consacroient aussi leurs travaux à l'Astronomie. Ils appliquoient aux phénomènes célestes l'instrument puissant de l'analyse. Duséjour, ancien élève et ami de Clairaut, calculoit la parallaxe du soleil (1), d'après les observations des derniers passages de Vénus : il s'attachoit à perfectionner les Mémoires qu'il avoit publiés à diverses époques sur les éclipses, les comètes, les disparitions périodiques des anneaux de Saturne, et les réunissoit dans un seul corps d'ouvrage (2). M. Laplace, que ses savantes recherches sur

(1) La parallaxe du soleil, conclue des Formules analytiques de Duséjour, est de 8",8 ; elle est, suivant Hell de 8",7.

(2) L'ouvrage de Duséjour a paru en deux volumes in-4°, sous le titre de *Traité analytique des mouvemens apparens des corps célestes* ; le premier en 1786, le second en 1789.

le mouvement des planètes, la figure de la terre et les marées, avoient déjà mis au rang des premiers géomètres de l'Europe, cherchoit, dans le silence du cabinet, à pénétrer la cause des grandes inégalités de Jupiter et de Saturne, problème dont la solution devoit être suivie d'un grand nombre d'importantes découvertes.

En Angleterre, le successeur de Flamsteed et de Bradley, M. Maskelyne, astronome royal de Gréenwick, à qui la navigation est depuis long-temps redevable de ces excellentes Ephémérides, connues sous le nom *d'Almanach nautique*, grossissoit chaque jour le trésor précieux de ses observations regardées comme les plus exactes que l'on eût encore connues depuis le renouvellement de l'Astronomie. L'illustre observateur, M. Herschel, se préparoit, par des essais multipliés sur l'optique et la mécanique, à la construction de son grand télescope, s'occupoit de la formation d'un catalogue de nébuleuses, d'étoiles doubles ou triples, et de diverses observations qui le conduisoient à la découverte de plusieurs astres nouveaux. Wolaston reduisoit à l'époque de 1790 tous les catalogues formés depuis Hévélius; il en composoit un répertoire général qui devoit présenter aux observateurs un plus grand nombre de régions connues dans le ciel.

En Italie, les trois astronomes de l'Observatoire de Milan, MM. Oriani, Reggio et Césaris, compagnons de gloire et de travaux, portoient leurs regards sur les parties les plus intéressantes de l'Astronomie, sur l'anneau de Saturne, l'obliquité de l'écliptique, les taches du soleil, ses éclipses et celles des étoiles. Ils étudioient assidument la marche de toutes les planètes, mais surtout celle de Mercure. Ils profitoient, avec

raison, des avantages (1) d'un ciel pur et serein pour observer un astre presque toujours plongé dans les rayons du soleil. A Florence, Ximenès observoit la diminution séculaire de l'obliquité de l'écliptique, par le moyen de la fameuse méridienne (2) de Paul Toscanelli, qu'il avoit rétablie. Eustache Zanotti et Mateucci réparoient celle de Bologne, célèbre par les observations de Dominique Cassini. A Pise, Joseph Slope continuoit d'enrichir de ses observations les registres astronomiques et les rendoit utiles en les publiant. Toaldo créoit un Observatoire à Padoue, et s'y faisoit remarquer, autant par son zèle pour l'Astronomie que par sa période météorologique (3) qu'il appliquoit à l'agriculture.

La *patrie de Galilée* avoit aussi d'habiles géomètres qui se livroient aux calculs des phénomènes célestes. Boscowick, connu par son Poëme sur les éclipses, auteur de la mesure d'un degré près de Rome, d'une solution du problème des comètes, d'une méthode pour déterminer, par trois observations d'une tache, l'équateur d'une planète, suc-

---

(1) Le 31 août 1791, les astronomes de Milan ont été témoins d'une occultation de Mercure par la lune, phénomène difficile à observer. *Bibliographie astronomique, par Jérôme Lalande*, pag. 728.

(2) Paul Toscanelli pratiqua, vers l'année 1467, dans la coupole de la cathédrale de Florence un gnomon de 277 pi ½ de hauteur; c'est le plus grand qui existe; il surpasse de beaucoup celui que Dominique Cassini avoit fait rétablir à Bologne en 1695. Ce dernier n'a de hauteur que 83 pi ½.

(3) Le Mémoire de Toaldo sur la météorologie appliquée à l'agriculture, a remporté le prix de l'Académie de Montpellier, en 1774; il est une suite d'un ouvrage célèbre de l'auteur, imprimé à Padoue, en 1770, sous le titre, *Della vera influenza degli astri saggio meteorologico*.

cessivement professeur de mathématiques au Collége romain, à Pavie et à Milan; enfin directeur d'optique pour la marine de France, s'occupoit, dans une vieillesse honorable, à rassembler les fruits de ses longs travaux. Frisi, dont le Mémoire sur l'atmosphère des planètes, avoit remporté le prix de l'Académie des Sciences de Paris, aspiroit à de nouveaux succès; sa Théorie des satellites de Jupiter obtint, à l'Académie de Harlem, une dernière couronne; mais le sort ne lui permit pas de la recevoir; elle fut envoyée à ses héritiers trois ans après sa mort.

L'Astronomie n'étoit pas cultivée avec moins de succès en Allemagne et dans les pays du nord de l'Europe. A Vienne, Maximilien Hell, qui devoit quelque célébrité à son observation du passage de Vénus, faite à Wardhus, dans la Norwège, en 1769, continuoit de publier ses intéressantes Éphémérides, où ses observations et ses calculs fixoient principalement l'attention des astronomes. A Berlin, M. Bode préparoit le magnifique Atlas qui devoit répandre en Europe la connoissance la plus étendue du ciel étoilé; et, dans le même temps, l'un de nos plus grands géomètres, M. la Grange, calculoit les variations séculaires des élémens des planètes, et démontroit, par une méthode qui lui est particulière, le grand principe de l'invariabilité des distances moyennes et des moyens mouvemens, découvert par M. Laplace. En Hollande, M. Van-Swinden, à qui ses vastes connoissances ont acquis parmi les savans une réputation méritée, cherchoit à répandre dans sa patrie le goût de la philosophie newtonienne et des observations utiles à la navigation. Dans le Danemarck, les travaux astronomiques rappeloient encore le souvenir de Tycho-Brahé;

Brahé ; M. Bugge, savant distingué, perfectionnoit la géographie de ce pays; il déterminoit les positions de Copenhague, d'Uranibourg et de Lunden. A Stockholm, Wargentin s'occupoit encore des satellites de Jupiter, dont il avoit donné les premières tables exactes. A Pétersbourg, le savant élève d'Euler découvroit la cause de l'orbite extraordinaire (1) que présentoit la comète de 1770.

Partout l'Astronomie trouvoit de zélés partisans et des gouvernemens protecteurs. Cette situation florissante lui préparoit de nouveaux développemens. Pour elle commence en 1781 une période remarquable, dans laquelle on verra l'observateur et le géomètre agir de concert et dans le même esprit pour calculer les mouvemens célestes avec plus de précision; celui-ci, pénétrant dans les profondeurs de la théorie, attendre de l'observation des données plus exactes, le besoin de cette nouvelle exactitude, amener celui de la perfection des instrumens et la perfection des instrumens conduire à la découverte de nouveaux phénomènes.

Tel doit être l'enchaînement des causes et des effets. Les astronomes et les géomètres s'entendront du nord au midi pour arriver ensemble au même but; chaque nation payera son tribut à la science, l'une par des théories plus profondes, une autre par des instrumens plus parfaits ou des observations plus précises, une autre enfin par la découverte d'astres inconnus.

Cependant l'Astronomie a perdu depuis 1781 un grand nombre de ses plus fermes appuis : elle a eu

(1) Réflexions sur le temps périodique des comètes et principalement de celle de 1770. *Pétersbourg*, *in-4°*, 1780.

B

successivement à déplorer la perte de Lemonnier, de Pingré, de Borda, de Méchain, de d'Agelet, de Duséjour, de Lalande, de Wargentin, de Ximenès, de Boscowick, de Frisi, de Hell et de beaucoup d'autres dont les noms lui seront toujours chers; mais il lui restoit encore des hommes capables de lui donner une grande impulsion, et d'autres dignes de seconder efficacement leurs efforts; elle s'est aussi fortifiée de nouveaux coopérateurs dont nous avons à faire connoître les travaux. En France, paroissent MM. Delambre, Cassini, Messier, Bouvard, le Français-Lalande, Burckhardt, Biot et Arago; Flaugergues, Vidal et Duc-la-Chapelle; en Italie, MM. Oriani, Calandrelli, Cagnoli et Piazzi; en Allemagne, MM. de Zach, Triesneker, Schroeter, Harding, Olbers, Gauss et Bürg; en Suède, MM. Swanberg, Ofverbon, Holmquist et Palander. A ces savans astronomes, peuvent être associés deux voyageurs célèbres, unis par leur noble dévouement pour les sciences; MM. de Humboldt et Bonpland, qui, pour observer les effets de la réfraction dans la zône torride, ont gravi jusqu'aux sommets des montagnes équatoriales. Ces noms nous laissent encore pour l'avenir de grandes espérances, auxquelles on peut ajouter celles que donnent le zèle éclairé de M. Mathieu pour l'observation, et les hautes connoissances de M. Poisson dans l'analyse. C'est par cette succession continuelle de talens et de lumières que les arts et les sciences se soutiennent ou se perfectionnent; leur décadence arrive lorsqu'une telle succession est interrompue, ou que le génie est remplacé par la médiocrité.

PREMIÈRE PARTIE.

DÉCOUVERTES FAITES PAR L'OBSERVATION.

ARTICLE PREMIER.

DÉCOUVERTES DE M. HERSCHEL.

URANUS.

Au moment où l'auteur de l'Histoire de l'Astronomie terminoit son ouvrage, un phénomène extraordinaire occupoit les savans de l'Europe. M. Herschel (1), observateur aussi distingué par ses connoissances dans l'Optique et dans l'Astronomie, que par les principes qui l'ont dirigé dans la recherche des phénomènes célestes, venoit de découvrir un astre nouveau. Il l'aperçut à Bath en Angleterre, le 13 mars 1781, en observant, avec un télescope de sept pieds, les étoiles situées vers le pied boréal des Gémeaux. L'ayant trouvé plus large et moins lumineux que les étoiles, il employa pour l'examiner un télescope d'une plus grande force, et vit son diamètre apparent s'agrandir. Deux jours après il reconnut qu'il avoit changé de place.

Bientôt l'apparition du nouvel astre fixa l'attention du monde savant; les astronomes les plus célèbres,

(1) William Herschel est né à Hanovre en 1738.

Lemonnier, Lalande, Méchain, d'Agelet, et M. Messier en France; M. Maskelyne en Angleterre; MM. Oriani, Reggio, Cesaris et Slope en Italie; M. Bode à Berlin; Wargentin à Stockolm, s'attachèrent à suivre sa marche dans le ciel.

A mesure qu'il s'avançoit dans les espaces célestes, ils admiroient le phénomène et n'osoient prononcer sur sa nature. Ils examinèrent d'abord si l'astre étoit une comète; mais il n'en avoit point les apparences, il n'en avoit ni la chevelure, ni la traînée lumineuse: son mouvement sensible et l'augmentation observée de son diamètre apparent ne permettoient pas non plus de le mettre au rang des étoiles. On se refusoit à le croire une planète; le monde, accoutumé depuis tant de siècles à n'en compter que sept, se prêtoit difficilement à l'adoption d'une huitième. En conséquence son orbite fut d'abord calculée comme celle d'une comète dans l'hypothèse parabolique. En peu de jours le calcul s'éloigna des observations, et ce fut en vain que l'on augmenta, pour les représenter, les distances périhélies des paraboles dans lesquelles l'astre étoit supposé se mouvoir, depuis quatorze jusqu'à dix-huit fois celle de la terre au soleil. Le président Saron, de l'Académie des Sciences de Paris, reconnut le premier qu'elles étoient mieux représentées dans le cercle que dans la parabole, et que la distance de l'astre étoit au moins douze fois aussi grande que celle de la terre au soleil: enfin Lexell, célèbre astronome de Pétersbourg, trouva que son mouvement dans un cercle, dont le rayon seroit double de celui de Saturne, étoit propre à satisfaire à toutes les observations. Dès-lors les opinions commencèrent à

se fixer sur la nature d'un astre dont la découverte étoit d'autant plus extraordinaire qu'elle reculoit de plus de trois cent millions de lieues les limites du système planétaire. Peut être s'étendent-elles beaucoup au-delà ; peut-être d'autres planètes invisibles pour nous, ou confondues avec des étoiles, circulent comme les comètes au-delà de l'astre d'Herschel ; peut-être les générations futures étendront encore les bornes de notre univers.

Après quelques mois d'observations, les astronomes cherchèrent à déterminer plus exactement l'orbite de la nouvelle planète. Lalande, qui s'en occupa spécialement, forma diverses hypothèses sur sa distance au soleil ; de chacune d'elles il déduisoit, d'après la loi de Kepler, la durée de sa révolution sidérale, concluoit son mouvement héliocentrique pour un temps déterminé, le comparoit avec son mouvement conclu pour le même temps, d'après les observations réduites au soleil, revenoit sans cesse à la même série d'opérations, jusqu'à ce que l'accord entre deux résultats, auxquels il arrivoit par deux voies différentes, devînt le garant de la légitimité de son hypothèse. Après différens essais, il trouva que pour obtenir cet accord, la distance de la planète devoit être supposée près de dix-neuf fois celle de la terre au soleil, et la durée de sa révolution sidérale, de plus de 82 ans.

Il aperçut en même temps dans son mouvement une inégalité sensible qui se manifestoit par la difficulté de représenter exactement dans le même cercle les observations faites pendant l'espace de quinze mois ; mais il laissoit au temps le soin d'en déterminer la quantité. Il s'arrêta pour le moment à l'hypothèse d'une orbite

circulaire, persuadé qu'elle étoit alors suffisante pour prévoir avec assez d'exactitude, pendant une année ou deux, la marche du nouvel astre; il donna en conséquence une première approximation de ses élémens (1).

Cependant, l'hypothèse de l'orbite circulaire n'étant pas encore abandonnée, sa plus grande équation du centre n'étoit pas connue, à plus forte raison les inégalités qui ne se développent que par la suite des siècles. Pour un astre qui se meut avec tant de lenteur, la seule détermination exacte de ses élémens auroit encore demandé un grand nombre d'années d'observations dans toutes les parties de son orbite; mais depuis qu'Euler, MM. Lagrange et Laplace ont appliqué l'analyse aux phénomènes célestes, la marche de l'Astronomie est devenue plus prompte, elle n'a pas attendu les secours du temps, elle a franchi ses intervalles.

Du moment où la découverte de M. Herschel fut connue en France, M. Laplace essaya, sur le nouvel astre, la méthode qu'il venoit de trouver pour déterminer les orbites des comètes; il le fit mouvoir successivement dans quatre paraboles, dont les deux premières furent rejetées après quelques jours d'observations, et les deux autres après un intervalle de quelques mois. Voyant que l'astre s'écartoit sans cesse des routes tracées dans cette espèce de courbe, il soupçonna bientôt que son orbe devoit être presque circulaire. C'étoit en

---

(1) Lalande établit, par une première approximation, que la longitude héliocentrique de la planète, pour le premier janvier 1782, à midi, pouvoit être supposée de $3^s\ 0^\circ\ 59'\ 22''$, son mouvement diurne, par rapport aux équinoxes de $43''$, 13 et son mouvement annuel de $4^\circ\ 22'\ 22''$. Il trouva, d'après diverses latitudes observées, qu'à l'époque du 15 avril 1781, le lieu du nœud étoit $2^s\ 12^\circ, 54'$, et l'inclinaison de l'orbite de $46'$. *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1783.

effet dans le cercle que toutes les observations, qui se faisoient alors sur la nouvelle planète, étoient le plus long-temps représentées; mais comme elle s'écartoit aussi de la route circulaire, il regarda l'ellipticité de son orbite comme évidemment indiquée.

Il chercha donc une méthode propre à déterminer directement par l'analyse l'orbite elliptique d'une planète. Aidé de sa théorie, qu'il avoit renfermée dans trois équations relatives à la révolution sidérale, à l'anomalie et au rayon vecteur, et de quatre excellentes observations (1) qui lui furent communiquées par Méchain, l'un des meilleurs observateurs de ce temps, il détermina (2) en 1782, c'est-à-dire, un peu plus d'un an après que la *nouvelle* planète eut eté pour la première fois aperçue par M. Herschel, les élémens de son orbite, avec une exactitude que l'on ne pouvoit pas espérer des observations d'un astre si récemment découvert.

Les travaux de M. Laplace sur la nouvelle planète ajoutèrent beaucoup à ceux de Lalande. En augmentant (3) la durée de la révolution sidérale, le

---

(1) L'une de ces observations se rapportoit au 11 mai 1781, deux autres étoient les oppositions de 1781 et de 1782, et une quatrième intermédiaire étoit du 13 mai 1782.

(2) *Théorie du mouvement et de la figure elliptique des planètes*, par M. *Laplace*, pag. 30.

(3) La durée de la révolution sidérale trouvée par Lalande étoit d'environ 82 ans, ou de 29950 jours.

Celle trouvée par M. Laplace, de 30445 jours, 75.

Le demi-grand axe de l'orbite étoit, suivant Lalande, de 18,931.

D'après M. Laplace, de 19,0818.

Et d'après les derniers calculs, de 19,183305.

L'inclinaison de l'orbite étoit, d'après Lalande, de 46'.

D'après M. Laplace, de 46' 12".

Elle a été portée par M. Delambre, à 46' 26".

L'équation du centre, déterminée par M. Laplace, étoit de 5° 27' 11".

Elle est maintenant, suivant les dernières tables, de 5° 27' 3".

demi-grand axe et l'inclinaison de son orbite, il approcha de plus près de ses véritables élémens; en s'éloignant de l'hypothèse circulaire, à laquelle ne pouvoit satisfaire une longue suite d'observations, il détermina l'équation du centre, telle à peu près qu'elle est reconnue aujourd'hui.

L'astronome et le géomètre avoient pris, pour arriver au but commun de leurs recherches, des chemins très-différens. Le premier avoit fait usage des méthodes de fausse position, dont les résultats sont souvent incertains et toujours bornés aux questions auxquelles ils sont appliqués; le second employoit les ressources de l'analyse, plus ferme dans sa marche, plus sûre et plus féconde dans ses applications. L'un profitoit avec adresse de toutes les observations qui pouvoient l'éclairer dans sa route; l'autre y portoit la lumière et devançoit les observations.

Ses premiers aperçus, dont il fit part à l'Académie des Sciences et aux savans de l'Europe, en 1783, furent bientôt suivis des tables de la planète, calculées par M. Nouet, successivement astronome de l'Observatoire, membre de l'Institut d'Egypte et géographe attaché au dépôt de la guerre. Deux astronomes très-connus, MM. Oriani de Milan, et Duval le Roi de Brest, calculèrent aussi vers le même temps ses inégalités; le premier, d'après la méthode de M. Laplace; le second, d'après celle de M. Lagrange.

Un autre savant, dont le nom dans cette circonstance mérite encore d'être cité, c'est M. Delambre, à qui l'Astronomie est redevable de tant de travaux importans: excellent observateur, calculateur habile et profond géomètre, il réunissoit toutes les qualités nécessaires

nécessaires pour travailler avec succès sur la nouvelle planète, et même pour arriver au terme des connoissances que l'on pouvoit acquérir sur ses élémens.

Les tables de M. Nouet, construites peu de temps après l'époque de sa découverte, et fondées sur l'hypothèse d'une orbite rigoureusement elliptique, ne pouvoient satisfaire long-temps avec exactitude à ses positions observées. Il étoit nécessaire, pour les mieux représenter, d'avoir égard à ses perturbations; l'Académie des Sciences de Paris proposa donc en 1789, un prix pour la construction de nouvelles tables. M. Delambre s'occupa de ce travail avec ce soin et cette attention qu'exigent impérieusement tous les calculs astronomiques. Les circonstances étoient alors favorables à cette entreprise; elle avoit obtenu du temps toute la maturité nécessaire; déjà l'astre, depuis sa découverte, avoit parcouru trente-six degrés dans le ciel, et par une singularité remarquable, la théorie des perturbations le faisoit retrouver comme planète dans trois positions différentes où il avoit été regardé comme étoile par Flamsteed en 1690, par Mayer en 1756, et par Lemonnier en 1769; de sorte qu'en le replaçant en idée dans ces trois positions, il se trouvoit avoir été observé long-temps même avant sa découverte dans différens points de son orbite.

M. Delambre ne négligea point cette découverte importante, faite par plusieurs astronomes (1); mais comme elle n'étoit encore appuyée sur aucune démons-

(1) M. Bode, astronome de Berlin, n'ayant point retrouvé la 964e étoile du catalogue zodiacal de Mayer, dans l'endroit du ciel où elle se trouvoit le 25 septembre 1756, à 10h 21′ 18″, temps moyen, conjectura que cette étoile n'étoit que la planète d'Herschel. M. Laplace ayant calculé, d'après les élémens qu'il avoit

tration rigoureuse, il commença par établir les perturbations et les élémens elliptiques de la planète, d'après un grand nombre d'observations de MM. Maskelyne et Hornsby, et celles qu'il avoit faites lui-même pendant plusieurs années, jusqu'au 20 mai 1789. Il employa cette première détermination comme moyen de vérifier les observations de Flamsteed, de Mayer et Lemonnier, et ses calculs ayant confirmé l'idée que l'on avoit conçue sur l'identité de la planète et de l'étoile prétendue observée par ces trois astronomes, il se servit de leurs observations pour améliorer ses élémens elliptiques et ses perturbations, qu'il détermina dans différentes hypothèses de distance moyenne et d'excentricité ; il avoit pris pour base de ses calculs préparatoires les tables de Caluso publiées en 1788, dans le troisième volume des Mémoires de l'Académie de Turin.

La Théorie de M. Laplace, d'après laquelle il calcula les dérangemens que pouvoit éprouver la planète par les actions de Jupiter et de Saturne, lui fournit deux équations remarquables, dont l'une d'environ 2′ 20″ se développe dans un intervalle de 90 ans, et dépend de la longitude moyenne de Saturne, moins deux fois la longitude moyenne de la planète; l'autre de 2′ 15″, ne se développe que dans un intervalle de 569 ans, et dépend de trois fois la longitude moyenne de la planète, moins une fois celle de Saturne.

---

déterminés, le lieu de la planète pour l'époque ci-dessus, il ne trouva qu'une différence de 3 ou 4″, d'où l'on pouvoit conclure que l'astre observé par Mayer, étoit la planète même d'Herschel, et que les élémens déterminés par M. Laplace étoient déjà fort approchés.

Dès le moment de la découverte de cette planète, M. Messier pensa que l'on pourroit expliquer par elle pourquoi certaines étoiles marquées dans les catalogues, ne se trouvoient plus dans le ciel.

C'est ici que l'on peut être frappé de la puissante influence de l'analyse. Un astre est apperçu pour la première fois ; sa marche est observée pendant quelque temps ; les lois de son mouvement sont altérées, l'observateur n'apperçoit ses altérations qu'à mesure qu'elles se manifestent ; mais l'œil du géomètre perce dans les profondeurs des siècles, il prévoit qu'indépendamment de plusieurs autres corrections qu'il peut séparément indiquer, le moyen mouvement de l'astre nouvellement connu doit être corrigé dans un intervalle de 569 ans de 2′ 15″ ; prescience extraordinaire donnée par la géométrie.

Cependant les secours de l'analyse ne dispensent point l'astronome des longs travaux qui lui sont réservés ; ce n'est que par degrés qu'il peut approcher de la véritable détermination des élémens d'une planète. La précision qu'il obtient est le fruit de ses pénibles recherches ; elle est le dernier résultat des approximations (1) successives, au moyen desquelles il cherche à resserrer de plus en plus les limites de ses erreurs.

M. Delambre connoissoit toute l'étendue de la tâche importante qui lui restoit à remplir ; les soins qu'il apporta dans la recherche des élémens qu'il devoit employer à la construction des tables de la nouvelle planète furent couronnés d'un succès qu'il n'avoit pas espéré. Ces tables, qu'il compara pendant trois ans avec le ciel, ne s'écartèrent pas pendant tout ce temps des

(1) En général la détermination des élémens elliptiques dépend des perturbations, et celle des perturbations dépend elle-même des élémens elliptiques, de sorte que l'on ne peut parvenir à la connoissance des uns que par le secours des autres, et par des approximations successives, qui deviennent d'autant plus exactes, que l'on emploie un plus grand nombre d'observations.

observations au-delà de sept secondes. L'Académie des Sciences leur décerna le prix qu'elle avoit proposé pour 1790; elles jouirent en même temps de la gloire d'être adoptées par les astronomes français et étrangers : elles furent employées pour les calculs de la Connoissance des Temps. Lalande les inséra dans la troisième édition de son Astronomie, et Wurm, astronome allemand, dans son Histoire de la nouvelle planète.

Ces tables, celles du Soleil, de Jupiter et de Saturne, celles des Satellites de Jupiter, et de l'aberration d'un grand nombre d'étoiles, qui parurent presqu'en même temps, placèrent alors M. Delambre au rang des astronomes les plus distingués, et ce qu'il a fait depuis, doit associer son nom aux noms les plus illustres, cités dans les fastes de l'Astronomie.

Les travaux dont je viens de donner un apperçu ne laissent plus rien à desirer sur les mouvemens de la nouvelle planète. Les résultats obtenus en moins de dix ans, ont surpassé les espérances des astronomes eux-mêmes. « Si la génération actuelle, disoit Bailly (1), » à l'époque de sa découverte, a l'avantage d'enrichir » notre système d'une nouvelle planète, ce sont les » générations suivantes qui fixeront les élémens de son » mouvement et les dimensions de son orbite. » L'observation et la géométrie ont fait plus qu'il n'avoit osé prévoir.

Ce qui pouvoit encore fixer l'attention des astronomes, c'étoient les dimensions de la planète elle-même, si long-temps inconnue à la terre. Sans l'aide du télescope, les regards de l'homme n'auroient pu l'atteindre;

(1) Histoire de l'Astronomie moderne, tom. 3, pag. 88.

mais aidé de ce puissant secours, il a mesuré le diamètre apparent de son disque devenu sensible. Ce diamètre, réduit à la moyenne distance de la terre au soleil, a été estimé de 1′ 14″,52, c'est-à-dire, d'environ quatre fois et un tiers celui de la terre, qui n'est que de 17″,2, réduit à la même distance. Le volume de la nouvelle planète seroit donc, d'après cette évaluation, qui, cependant ne peut être regardée comme très-précise, environ quatre-vingts fois plus grand que celui de la terre; et cependant peu s'en est fallu que ce corps si volumineux ne soit encore resté quelque temps ignoré dans les espaces célestes. Car, si le hasard, observe Lalande, eût dirigé le télescope d'Herschel vers cet astre onze jours plutôt, il ne se seroit point apperçu de son *mouvement*; la planète étoit alors stationnaire.

Mais s'il est vrai qu'un hasard heureux ait avancé sa découverte, un hasard d'un genre tout opposé l'avoit aussi retardée de seize ans. Lemonnier, en 1765, avoit observé trois fois, en moins de huit jours, la planète qu'il prenoit pour une étoile. S'il eût comparé ses trois observations, il eût sans doute enlevé à l'astronome anglois l'un des premiers titres de sa gloire. Le nouvel astre, à cette époque, étoit presque en opposition, et son mouvement en ascension droite étoit très-sensible. Il est probable, au reste, qu'il ne pouvoit plus se cacher long-temps à la terre, que s'il eût encore dérobé sa marche au télescope d'Herschel, il n'eût pas échappé aux savans qui se sont occupés dans ces derniers temps de la formation de grands catalogues d'étoiles.

Les astronomes ont varié quelque temps sur le nom qui lui devoit être donné. M. Herschel l'avoit appelé *Georgium Sidus*, *l'astre de George*, en recon-

noissance des encouragemens qu'il avoit reçus du roi George. Lalande et d'autres l'appeloient *Herschel*, du nom de l'auteur de la découverte. On avoit aussi proposé les noms de *Cybèle* et de *Neptune;* mais le nom *d'Uranus*, qui lui fut donné par M. Bode, a prévalu sur tous les autres.

SATELLITES D'URANUS.

Pour ne pas interrompre la série des découvertes faites dans le monde d'Uranus, nous allons parler de celle de ses satellites.

Ce n'étoit pas un médiocre effet de la puissance du télescope de découvrir une planète située vers les extrémités de notre système ; mais cette puissance devoit paroître encore plus grande dans la découverte de six petits astres qui circulent autour d'elle : cette conquête, plus difficile que la première, étoit réservée à la constance de M. Herschel.

Dès l'année 1782, cet habile observateur commençoit à soupçonner l'existence de quelques satellites autour d'Uranus. Il reconnut par leur changement de position, que les corps qu'il appercevoit auprès de la planète n'étoient pas des étoiles, mais des astres qu'elle entraînoit avec elle dans son cours ; il consacra huit années entières à les observer. Il en découvrit d'abord deux le 11 janvier 1787, environ six ans après la découverte de la planète. Ces deux satellites étoient, par leurs distances, au centre de leurs mouvemens, le second et le quatrième. En observant leur situation dans diverses oppositions successives, il trouva que la révolution

synodique du premier étoit de 8^{j} 17^{h} 1′ 19,″3 et celle du second de 13^{j} 1^{h} 5′ 1″, 5.

Un de leurs élémens importans, qu'il s'appliqua bientôt aussi à déterminer, étoit leur distance au centre de la planète. Une seule suffisoit pour en conclure d'autres, d'après les lois de Kepler : il s'attacha donc à découvrir celle du satellite le plus éloigné ; il l'observa dans un grand nombre de positions différentes. L'ellipticité de son orbite lui parut sensible, et sa distance moyenne à la planète, de 43″,23; il évalua celle de l'autre à 33″,09.

En 1790, il découvrit encore deux autres satellites de sa planète ; l'un le 18 janvier et l'autre le 9 février ; ce sont le premier et le cinquième, en désignant toujours leurs rangs par la distance. Il trouva celle du premier, qu'il appelle *intérieur*, de 25″,5, et sa révolution périodique de 5^{j} 21^{h} 25′; la distance du cinquième, qu'il appelle *extérieur*, de 88″, 4, et sa révolution périodique, de 38^{j} 1^{h} 49′.

Il découvrit enfin les deux derniers en 1794; l'un le 28 février, et l'autre le 26 mars ; ce sont le sixième et le troisième ; il évalua la distance du sixième, qu'il trouva le plus éloigné de la planète, à 176″,8, et sa révolution périodique à 107^{j} 16^{h} 40′; la distance du troisième, qu'il appelle *intermédiaire*, à 38″,57, et sa révolution périodique de 10^{j} 23^{h} 4′.

Ce que les satellites d'Uranus présentent de plus remarquable, ce sont les rapports établis dans leurs distances. Celle du troisième satellite est la moitié des distances réunies du second et du quatrième; la distance du cinquième est le double de celle du quatrième, et la distance du sixième en est le quadruple. Quelles sont les causes d'une semblable régularité ? Ces astres

ont-ils été dès l'origine lancés dans l'espace à de pareilles distances, et comment s'y sont-ils maintenus?

Une loi générale dans la Physique céleste est celle de la conformité des mouvemens des planètes et des satellites du système solaire; tous paroissent se diriger dans le même sens, c'est-à-dire, d'Occident en Orient, ou suivant l'ordre des signes; nulle exception à cette loi n'avoit encore été observée. Deux des satellites de la planète d'Herschel en ont présenté le phénomène aux yeux de cet observateur; ils s'avancent vers l'Occident à partir de leur conjonction supérieure, différens en cela des autres qui marchent tous dans un sens contraire; mais on peut observer que leurs orbites sont presque perpendiculaires à celle de la planète; ceux dont l'inclinaison des orbites surpasse le quart de la circonférence, doivent nous paroître rétrogrades.

On demandera peut-être si la découverte d'Uranus et de ses satellites est un objet bien important pour les progrès de l'Astronomie. Sous quel rapport, dira-t-on, peut nous intéresser un astre à peine visible à la vue simple, marchant à pas lents dans sa route elliptique à plus de six cent millions de lieues de notre planète. Que nous importe la découverte de ses satellites; ils ne présentent pas, comme ceux de Jupiter, des ressources aux navigateurs; ils ne peuvent être apperçus avec des instrumens ordinaires; ne semblent-ils pas devoir être mis au nombre de ces astres qui se perdent pour nous dans l'immensité de l'espace?

On peut répondre, que dans le système du monde rien n'est indifférent pour l'astronome, que les satellites d'Uranus, quoiqu'ils ne soient pas probablement moindres que ceux de Jupiter, ne peuvent, à la vérité, servir de

de guides aux navigateurs, mais qu'ils peuvent par leurs révolutions et leurs distances, faire connoître la masse de la planète, sa force attractive et les dérangemens que pour sa part elle occasionne dans les mouvemens de Saturne et ceux des autres planètes, connoissances qui concourent, avec tant d'autres, au perfectionnement des tables astronomiques.

C'est d'après la distance du second satellite, sa révolution et le diamètre de sa planète, que M. Herschel a calculé sa masse (1), qu'il a trouvée près de 18 fois plus grande que celle de la terre.

NOUVEAUX SATELLITES

DE SATURNE, SES BANDES, SA ROTATION ET CELLE DE SON ANNEAU.

Descendons maintenant d'Uranus vers Saturne, nous y trouverons encore des traces de l'infatigable activité de M. Herschel; deux nouveaux satellites échappés aux regards des astronomes, la rotation de l'anneau merveilleux qui l'environne, confirmée par ses observations, celle de la planète elle-même, et les cinq bandes qui paroissent recouvrir sa surface.

Dans le mois de septembre 1789, M. Herschel découvrit, par le moyen de son grand télescope, qu'il venoit de terminer, un sixième satellite de Saturne, plus voisin de cette planète et plus petit que les cinq derniers décou-

(1) D'après les calculs de M. Herschel, la masse d'Uranus est à celle de la terre, comme 17,7 est à 1. Son volume est à 80,49, sa densité, 0,22.

Le rapport de la masse d'Uranus à celle de la terre, est, d'après les calculs de M. Laplace, de 16,90 à 1.

(*Phil. transact.* 1788, pag. 378 et *Mécan. cél. tom.* 3, pag. 61.

verts dans le dix-septième siècle; il a trouvé sa révolution sidérale de $1^{j}\ 8^{h}\ 53'\ 9''$, et sa distance au centre de Saturne, de $36'',7889$.

Dans le mois d'octobre suivant, il découvrit encore un septième satellite, plus intérieur que tous les autres; sa distance lui parut être seulement de $28'',6689$, et sa révolution sidérale, de $22^{h}37'\ 22'',9$. Les observations qu'il a faites en différens temps ont prouvé que l'un et l'autre se meuvent à très-peu près dans le plan de l'anneau.

Trois astronomes célèbres ont les premiers apperçu les astres qui composent le cortége de Saturne; Huyghens, qui découvrit le quatrième et le plus grand de tous en 1655, Dominique Cassini, qui découvrit les quatre moyens depuis 1671 jusqu'en 1684, et M. Herschel, qui vient de découvrir les deux plus petits et les plus voisins de la planète. Les deux premiers observateurs, en moins de 30 ans, ont donné cinq satellites à Saturne; un siècle entier s'est ensuite écoulé pour compléter son système, tel qu'il est aujourd'hui reconnu; mais de nouveaux efforts étoient nécessaires; il fallait attendre des instrumens plus parfaits pour distinguer des corps qui paroissent à peine séparés de leur planète principale.

En portant des regards assidus sur Saturne, M. Herschel a remarqué sur les bras de l'anneau plusieurs points protubérans et brillans d'une lumière semblable à celle de ses satellites. Ces points pouvoient-ils être confondus avec eux, ou formoient-ils des parties intégrantes de l'anneau? C'est ce qu'il étoit difficile de démêler dans un système de corps placés à de si grandes distances de la terre. Les positions des satellites qu'il avoit examinées lui paroissoient d'abord répondre assez bien à celles des points lumineux observés, mais les corrections faites aux époques

des anciens satellites, aux tables des nouveaux, d'après des observations continuées pendant deux mois consécutifs, ne tardèrent pas à détruire, en grande partie, l'accord qu'il avoit cru remarquer. Les points protubérans et lumineux cessèrent bientôt à ses yeux d'avoir la moindre correspondance avec les satellites connus; un grand nombre d'observations ne pouvoient leur être appliquées.

L'hypothèse de l'identité des satellites et des points lumineux n'étant pas satisfaite, il examina si l'existence bien constatée de ces derniers n'indiquoit pas celle de quelques satellites encore inconnus; mais aucun de ces points ne paroissoit se détacher de l'anneau et se présenter sous l'apparence d'un satellite. De plus, la révolution du point *le plus brillant* et le mieux observé n'étoit que de $10^h\ 32'\ 15'',4$, et sa distance au centre de Saturne, calculée dans cette hypothèse, comme celle d'un satellite, n'étoit que d'environ $17''$, ce qui plaçoit nécessairement le satellite sur le corps même de l'anneau. M. Herschel ne trouvoit aucun moyen de le faire mouvoir sur ce corps, à moins de le supposer d'une matière assez rare pour le laisser circuler librement dans son intérieur, ou de supposer des divisions, des cavités capables de le recevoir sans mettre aucun obstacle à sa marche, hypothèses qu'il regardoit comme inadmissibles et contraires aux apparences que présentent les observations et la nature de l'anneau. La seule qui lui paroissoit pouvoir expliquer la révolution observée, est celle de l'adhérence du point brillant au corps même de l'anneau qui l'entraîne avec lui dans sa rotation sur un axe perpendiculaire à son plan, en $10^h\ 32'\ 15'',4$. Telle est la durée que lui assigne le célèbre observateur, M. Herschel, en

s'appuyant sur le mouvement de cinq points lumineux et protubérans, observés à plusieurs reprises, depuis le 28 juillet 1789, jusqu'au 25 décembre de la même année. Il est à remarquer que cette rotation de l'anneau avoit été déjà dévoilée auparavant par la théorie, à M. Laplace lorsqu'il recherchoit les conditions nécessaires à sa conservation.

Mais le grand mouvement qui s'opère dans l'anneau de Saturne ne doit-il pas entraîner celui de la planète elle-même sur l'un de ses diamètres? Peut-elle être immobile, tandis que tous les corps qui l'environnent se meuvent rapidement autour d'elle? M. Herschel a profité des moyens que lui donnoit la perfection de ses instrumens pour examiner si Saturne n'avoit pas, comme Jupiter, Mars et la terre, un mouvement de rotation sur lui-même. Il découvrit, comme premier indice de ce mouvement, qu'il étoit, ainsi que ces trois planètes, élevé vers son équateur, aplati vers ses pôles, que son diamètre polaire (1) étoit au moins d'un onzième plus petit que son diamètre équatorial, que le plus grand des deux étoit dans le plan même de l'anneau. Il découvrit aussi, comme indice du sens dans lequel étoit dirigé son mouvement de rotation, cinq bandes parallèles à son équateur, qui lui firent présumer qu'il est entouré d'une atmosphère considérable, que ses bandes et les variations qu'elles présentent en sont les effets. Il remarqua que lorsque les satellites approchoient de son disque, ils étoient longtemps dans une espèce de pénombre, avant que de dis-

---

(1) Mesure moyenne du diamètre équatorial, d'après M. Herschel, 22",81
du diamètre polaire, 20",60
(*Phil. transactions*, 1790.)

paraître. Il conclut de ces apparences et des observations faites sur quelques points remarquables de la planète, qu'elle tourne d'Occident en Orient, sur un axe perpendiculaire à l'anneau, en $10^h\ 16'\ 19'',2$; ainsi, dans le plan même de l'équateur de Saturne, s'exécutent à la fois les mouvemens très-rapides de sa rotation et de celle de son anneau, et les mouvemens de ses satellites, à l'exception de celui du septième. Ce dernier paroît quelquefois à l'orient de la planète, et sa lumière, toujours très-affoiblie dans cette position, annonce que l'hémisphère, qui peut dans cette circonstance être observé de la terre, est obscurci par des taches, qu'il est par conséquent toujours le même, et qu'enfin le mouvement de la rotation de ce satellite, semblable à celui de la lune, est égal à son mouvement de révolution, égalité que M. Herschel a reconnue pour les satellites de Jupiter (1), par la comparaison de leur plus grande et de leur moindre clarté avec leurs positions mutuelles, et qui paroît être une loi commune des mouvemens de tous les satellites.

D'autres découvertes importantes ont encore été faites par M. Herschel dans le système de Saturne; telle est celle de la séparation de l'anneau qu'il a suivie dans toute sa circonférence, de manière à distinguer entre ses deux parties, qu'il a trouvées distantes d'une demi-seconde, la couleur azurée du ciel.

Il a fait aussi quelques observations pour constater leur peu d'épaisseur, qu'il a trouvé quatre fois moindre que le diamètre d'un satellite qui ne présentoit que l'apparence d'une seconde. Cette appréciation de quantités

(1) *Phil. transact.*, 1796.

aussi petites, paroît extraordinaire à quelques astronomes qui doutent encore d'une si grande précision.

Les travaux de M. Herschel ne se sont pas arrêtés aux trois grandes planètes supérieures ; ils se sont étendus plus avant dans les espaces célestes. Ce sont ces travaux dignes également de rendre son nom célèbre aux yeux de la postérité, que nous devons ajouter à ses découvertes dans les mondes de Jupiter, de Saturne et d'Uranus.

ROTATION DES ÉTOILES.

Le soleil, ce foyer intarissable de lumière, est unique dans notre système, mais il n'est pas le seul dans l'univers. Ces points fixes que nous voyons briller dans la nuit sur la voûte céleste, sont de la même nature que lui ; la lumière étincelante qu'ils envoient jusqu'à nous à travers des espaces presque infinis, annonce qu'ils sont autant de soleils qui portent en eux les foyers puissans dont elle émane ; mais cette lumière est plus ou moins brillante dans quelques étoiles ; les différens degrés qu'elle parcourt dans des périodes marquées, annoncent aussi que ces astres ont, comme le soleil, un mouvement de rotation, qu'en tournant sur leurs axes ils nous présentent des portions de leur surface, plus ou moins lumineuses, dont quelques-unes sont présumées être obscurcies par des taches.

Ces changemens ont été observés dans Algol, dans β de la Lyre, dans δ de Cephée, dans η d'Antinoüs, dans ο de la Baleine, dans la changeante de l'Hydre, et dans celle du Col du Cygne. Les périodes de leurs changemens ou de leurs révolutions sont très-différentes ;

elles sont respectivement de 3, 5, 6 et 7 jours pour les quatre premières, de 341, 394 et 497, pour les trois autres.

Le catalogue des étoiles périodiques s'est accru de l'étoile α d'Hercule, en conséquence des observations faites par M. Herschel, dans les années 1795 et 1796. Cet astronome a trouvé le moyen de connoître avec précision les moindres altérations dans la lumière des étoiles, en les comparant avec celles dont l'éclat paroît inaltérable. Il a fait l'application de sa méthode à l'étoile α d'Hercule, qu'il a comparée avec l'étoile α d'Ophiuchus, convenablement située pour cet objet; et par une suite de comparaisons répétées avec soin, il a reconnu que la première des deux étoiles avoit subi tous ses changemens depuis *le 16 septembre*, jusqu'au 28 novembre *1795*.

Mais les variations qu'elle a développées dans une seule période ne lui ont pas paru suffisantes pour la déterminer avec exactitude. Plusieurs causes dépendantes des différentes modifications de l'atmosphère, et d'autres qui nous sont inconnues, peuvent altérer accidentellement la lumière des étoiles: il a donc embrassé dans la suite de ses observations, un intervalle de deux cent quarante-un jours, pendant lesquels l'étoile s'est montrée quatre fois dans son plus grand éclat; il en a conclu que la durée de ses variations étoit de 61 jours et $\frac{1}{4}$.

D'après ces phénomènes d'accroissement et de diminution dans la lumière de quelques étoiles, il ne reste presque aucun doute sur leurs mouvemens de rotation autour de leurs axes, quelque différentes que soient leurs durées. Nous ne révoquons point en doute les mou-

vemens de rotation des planètes et des satellites, quoique Jupiter, le plus grand des corps planétaires, tourne sur son axe en dix heures, et que la rotation du cinquième satellite de Saturne ne s'achève qu'en soixante-dix-neuf jours. Nous ne devons pas rejeter davantage les mouvemens de rotation des étoiles, quand même ils présenteroient dans la suite des différences encore plus considérables qu'aujourd'hui. M. Herschel paroît en prévoir (1). « Il a, dit-il, des raisons de croire que la 34me » du cygne est une étoile changeante dont la période » est de dix-huit ans, et que certaines étoiles qui per- » dent lentement leur lumière la recouvreront par la » suite. »

Nous n'avons jusqu'ici qu'un très-petit nombre d'étoiles dont le mouvement de rotation soit connu ; ce nombre augmentera sans doute, si l'on fait des applications fréquentes de la méthode de M. Herschel. Cet habile astronome a donné l'exemple, et préparé la voie à ses successeurs. En déterminant la période d'α d'Hercule, il a donné le tableau de la splendeur comparative de 521 étoiles choisies dans les constellations du Bélier, du grand et du petit Chien, de Cassiopée, de la Baleine, du Corbeau, de l'Eridan et du Lion. Ce tableau, consulté à différentes époques, fera reconnoître les changemens survenus dans les étoiles comparées. C'est par des tableaux de ce genre qu'elles pourront même être classées d'une manière plus précise que par les vagues déterminations de leur grandeur apparente ; et s'ils sont renouvelés, l'astronome y pourra lire, en quelque

(1) *Philos. transact.*, 1796.

sorte

sorte, l'histoire des principaux événemens du ciel étoilé.

Des travaux de cette nature ne peuvent qu'ajouter à la célébrité de M. Herschel. On ne peut que concevoir une grande idée des facultés de l'homme, lorsqu'on le voit pénétrer dans les plus profondes régions de l'espace, déterminer les mouvemens de rotation, mesurer la lumière et fixer les rangs des astres dont il peut à peine concevoir la distance. Ces sortes de travaux sont d'autant plus dignes d'éloges qu'ils sont plus difficiles; pour être exécutés avec une certaine précision, ils demandent le coup d'œil d'un observateur très-exercé.

NÉBULEUSES.

Du soleil et des étoiles les plus brillantes, M. Herschel s'est encore élevé jusque dans les régions supérieures du ciel, tout-à-fait inconnues aux anciens; il a porté ses regards sur ces astres que l'œil nu apperçoit comme dans un nuage, sans pouvoir les distinguer, sur ces groupes d'étoiles, que nous désignons sous le nom de *nébuleuses*. Il a trouvé les moyens de les caractériser, en a formé un catalogue plus étendu que ceux d'Hipparque et de Ptolémée, et par ces nouvelles conquêtes, faites à l'astronomie, il n'a cessé d'accroître notre admiration pour les merveilles de la nature.

Il a partagé les nébuleuses qu'il a découvertes, en huit classes; la première, composée de 215 nébuleuses claires ou brillantes; la seconde, de 768 nébuleuses pâles; la troisième, de 747 nébuleuses extrêmement pâles ou dont la lumière est très-foible; la quatrième, de 58, qu'il désigne sous le nom de planétaires; la cinquième, de 44,

comprend les nébuleuses d'une grande étendue ; la sixième, de 35, comprend celles qui sont formées de groupes d'étoiles très-pressées ; la septième, de 55, comprend celles qui sont formées par des amas de grandes et de petites étoiles ; la huitième est composée de 78 assemblages d'étoiles irrégulièrement dispersées. Ces huit classes forment ensemble une collection de deux mille nébuleuses, presque toutes inconnues avant M. Herschel.

Dans l'exposition de ce grand nombre d'objets si variés, il semble avoir montré le ciel avec une nouvelle magnificence. En nous faisant connoître de nouveaux astres assemblés en groupes aux dernières limites de l'univers, il a développé les phénomènes qui les accompagnent ; il en a décrit les formes, parmi lesquelles la figure sphérique est celle qu'il a le plus souvent observée. Dans plusieurs de ces groupes, il a distingué des taches lumineuses également brillantes et dispersées sur un espace circulaire, mais plus pressées à mesure qu'elles approchent du centre, de manière qu'à ce point leur compression graduelle se termine en un foyer de lumière.

Il présume, d'après le grand nombre d'étoiles qu'il a considérées, que celles d'une même constellation doivent être à peu près de la même grandeur, ou qu'elles ne doivent pas plus différer les unes des autres que les plantes d'une même espèce, lorsqu'elles sont parvenues au plus haut degré de leur accroissement.

Il pense aussi qu'à une égale distance du centre, elles sont également dispersées ; car à mesure qu'on approche de ce point, on observe une augmentation uniforme de clarté qui ne peut provenir que d'une égale compression d'étoiles sur la circonférence d'un même cercle

concentrique, égalité qui se maintient à la vue aussi loin que les étoiles sont visibles, et paroît indiquée par les apparences d'une égale lumière, lorsqu'elles ne peuvent plus être distinguées.

Il conclut de la forme sphérique que paroissent avoir extérieurement les groupes d'étoiles, qu'ils ont été formés comme le soleil, les planètes et leurs satellites, par l'action d'un pouvoir central. Il trouve les effets du même pouvoir dans leur construction intérieure, dans cette accumulation visible des étoiles qui va toujours en augmentant par degrés vers le centre. Il expose à cette occasion l'idée de deux pouvoirs du centre, qu'il avoit déjà conçue depuis long-temps, l'un d'attraction et l'autre de répulsion; mais il ne croit pas nécessaire pour son objet de déterminer la nature d'une force dont l'effet, quelle qu'elle soit, est toujours dirigé vers le centre.

Après ces considérations sur les groupes de forme sphérique, il examine en général toute nébuleuse condensée par degrés, soit par une accumulation visible d'étoiles, soit par une augmentation de lumière vers le centre ou vers tout autre point, quelle que soit leur figure, sphérique ou non sphérique. C'est parmi les groupes de cette dernière espèce qu'il a trouvé les assemblages d'étoiles les plus étendus et les amas les plus féconds de nébuleuses. Il pense que si la formation extérieure de ces dernières n'est pas sphérique, la grandeur de leurs dimensions annonce qu'elles tendent à l'être; que les étoiles qui paroissent se presser en foule vers le siége de la puissance, ont été d'abord arrêtées par des groupes déjà formés, que si quelques-unes sont parvenues à déplacer celles qui les avoient précédées, d'autres ont été forcées de prendre des positions laterales, que toutes enfin

ont à l'envi cherché la place du centre qui s'est grossi sous une forme sphérique.

Il observe que dans le nombre de 3300, tant nébuleuses que groupes d'étoiles, qu'il a considérées avec attention, le même effet s'est toujours manifesté vers le centre, ou par une plus grande lumière, ou par une plus grande condensation; il ne balance donc pas à regarder cet effet constamment observé, comme évidemment produit par une puissance centrale, et c'est sur elle qu'il établit les fondemens de tout le système céleste.

Appuyé sur ce principe incontestable et sur la collection très-étendue des nébuleuses consignées dans ses Catalogues, il cherche à reconnoître les progrès des opérations de la nature dans le grand laboratoire de l'univers. Il entre dans quelques détails sur la grande variété des groupes, sur leur figure plus ou moins régulière, sur leur compression plus ou moins grande, et trouve la cause de leurs irrégularités ou de leur perfection, dans l'action plus ou moins prolongée de la puissance centrale, relativement aux effets qu'elle avoit à produire.

C'est ainsi que M. Herschel a parcouru les espaces célestes en observateur philosophe, cherchant à découvrir des nébuleuses jusqu'aux distances imperceptibles, jusqu'aux lieux où leur grandeur se perd et leur clarté s'évanouit. Il a porté le principe d'une force centrale reconnu sur la terre et dans tout notre système, jusqu'aux plus profondes régions de l'espace. On ne peut douter que cette force ne soit l'ame de l'univers; mais lorsqu'il s'agit de remonter à l'origine des choses, à la formation des assemblages d'étoiles, aux causes qui les ont rendus

plus ou moins condensés, plus ou moins réguliers dans leur figure ; là, notre esprit se confond, là, finissent les vérités démontrées et commence l'ouvrage de l'imagination.

On voit par les différens tableaux que nous venons d'exposer, combien d'objets intéressans ont occupé les jours et les nuits de M. Herschel. Les étoiles, les planètes et leurs satellites ont exercé successivement les diverses puissances de ses télescopes. Il a fait sur ces astres les découvertes les plus importantes, il a vu circuler autour du soleil une nouvelle planète, quatre-vingts fois plus grosse que la terre ; il a distingué autour de cette planète des astres *presque imperceptibles* ; autour de Saturne, *deux* nouveaux satellites dont Huyghens et Cassini n'avoient pas même soupçonné l'existence ; il a fixé les temps qu'emploient la planète et l'anneau qui l'environne, à tourner rapidement sur leurs axes.

Porté par son génie observateur jusqu'au séjour brillant des étoiles, il a mesuré l'intensité de leur lumière et découvert, par les variations qu'elle éprouve, leur mouvement de rotation. Il a fait plus, il a franchi, pour ainsi dire, toutes les limites de l'espace, pour observer ces groupes de corps sans nombre, dont le grand éloignement ne laisse arriver jusqu'à nous que des apparences de légers nuages. Enfin les cieux se sont ouverts devant lui jusqu'à des distances où l'œil de l'homme n'avoit pas encore pénétré.

En suivant M. Herschel dans ses nombreuses recherches sur les phénomènes astronomiques, l'imagination est frappée des merveilles qu'il y découvre, à mesure que les espaces célestes s'agrandissent à sa vue ; mais ce qui,

dans ses observations, sera toujours un grand sujet d'étonnement, c'est l'idée qu'il donne de l'immensité du ciel, par la multitude infinie des corps lumineux qui le remplissent.

Quel doit être le nombre des étoiles disséminées autour de notre système, si M. Herschel en a découvert jusqu'à 44 mille (1) dans un espace de 8 degrés sur 3; si, par un calcul approximatif il en a vu passer, en parcourant quelques parties de la voie lactée, au moins 258 mille (2) dans le champ de son télescope pendant l'intervalle de 41 minutes? Cependant cet observateur n'a pas vu tous les soleils existans dans les espaces resserrés qu'il a parcourus. Qui peut, d'après cela, en limiter le nombre et donner des bornes à l'univers?

GRAND TÉLESCOPE

DE M. HERSCHEL.

Nous ne pouvons parler ici des découvertes que M. Herschel a faites par l'observation, et passer sous silence les ressources qu'il a trouvées dans ses talens pour les obtenir. Nous ne pouvons séparer en lui l'habile opticien du grand observateur; c'est sans doute à la nouvelle perfection qu'il a su donner à ses instrumens qu'il doit en grande partie la renommée qu'il s'est acquise comme astronome.

---

(1) En supposant les étoiles également répandues sur toute la surface de la sphère céleste, leur nombre s'éleveroit à 75 millions.

(2) *Philos. transact.*, 1795.

M. Herschel s'étoit instruit dans la théorie de l'optique par la lecture des ouvrages de M. Smith; il en acquit la pratique en construisant pour lui-même un grand nombre de télescopes de différentes grandeurs, depuis deux jusqu'à vingt pieds.

Personne avant lui n'avoit mis autant de soin pour fondre et polir les miroirs. Son usage étoit d'en préparer plusieurs pour le même instrument, et de n'en admettre aucun qu'après les avoir éprouvés. Il en avoit préparé jusqu'à quatre-vingts pour son télescope de vingt pieds, dont la perfection étoit telle qu'il pouvoit grossir les objets jusqu'à six mille fois (1).

Ces différens ouvrages n'étoient que des essais relativement à son grand télescope, instrument unique jusqu'à ce jour dans les Observatoires de l'Europe, par les dimensions de toutes les parties qui le composent, et le mécanisme dont il est accompagné.

M. Herschel commença vers la fin de l'année 1785, la construction de la charpente énorme qui devoit lui servir de support; il dirigeoit lui-même les travaux des ouvriers, les surveilloit dans le plus grand détail, quoiqu'ils fussent quelquefois au nombre de quarante employés à cette construction.

Il préparoit en même temps le grand miroir dont le moule, la fonte et le poli demandoient des précautions très-multipliées. Après un an de travaux non interrompus, il crut son ouvrage assez avancé pour commencer à l'éprouver par quelques observations, le 19 février 1787.

Cependant il étoit encore loin de le regarder comme

---

(1) *Philos trans.*, 1782, p. 173.

achevé; c'est dans le miroir qu'il trouvoit les plus grandes difficultés. Il découvrit, d'après l'examen du premier jeté en fonte, qu'il étoit trop mince vers le centre de la partie convexe. Au commencement de 1788, il en fit jeter un second, qui fut brisé en se refroidissant; peu de temps après, il fit fondre le troisième, qu'il trouva d'un degré de force convenable dans toutes ses parties; il le polit, et, le 24 octobre de la même année, il en fit l'essai sur Saturne; mais n'étant pas encore entièrement satisfait, il continua de le travailler jusqu'au 27 du mois d'août de l'année suivante. Le 28, il le dirigea de nouveau vers Saturne, et le premier fruit qu'il retira de son ouvrage fut la découverte d'un sixième satellite de cette planète.

Lalande fait le plus grand éloge de ce télescope, qu'il dit n'avoir pas vu sans étonnement; il rapporte (1) que la nébuleuse d'Orion, qui n'est qu'une blancheur pâle et invisible à la vue simple, y répand une lumière semblable à celle du jour en plein midi. C'est cette grande lumière qui laisse appercevoir l'anneau de Saturne dans le temps de sa disparition ou de la phase ronde de la planète, tandis qu'il ne peut être apperçu par les télescopes ordinaires.

Le tube du grand télescope de M. Herschel est de forme cylindrique, composé de feuilles de fer artistement jointes ensemble. Sa longueur (2) est de 39^{pi} 4^{pou}, et son diamètre de 4^{pi}10^{pou}; celui de la face concave du miroir est de 4^{pi}, et son épaisseur égale dans toute son

(1) Bibliographie astronomiq., p. 683.

(2) Les dimensions du télescope et le poids du miroir sont ici désignés, d'après M. Herschel, en mesures et poids anglois.

étendue

étendue est de $3^{pou}\frac{1}{2}$; son poids avant d'être poli étoit de 2118 livres.

Ce grand ouvrage de M. Herschel n'a pas moins contribué que ses découvertes, à rendre son nom célèbre parmi les astronomes auxquels il devenoit chaque jour d'autant plus utile, qu'il donnoit plus d'étendue à ses facultés visuelles.

ARTICLE II.

Observations de M. Schroeter, sur Vénus, Mercure, Mars, l'anneau de Saturne et la Lune.

En Allemagne s'est aussi rencontré dans ces derniers temps un astronome célèbre, émule de M. Herschel; c'est M. Schroeter, grand-bailli de Lilienthal. Possesseur de deux excellens télescopes de M. Schader, l'un de 13 pieds et l'autre de 27, il a bientôt rivalisé, par leur secours, avec les meilleurs observateurs de l'Europe. Dès qu'ils ont été entre ses mains, il les a fait concourir avec d'autres de moindre force, pour donner, à l'exemple de M. Herschel, une idée bien frappante de l'immensité de l'univers.

Il avoit d'abord dirigé son télescope de 4 pieds vers un point de la voie lactée, sur lequel il n'avoit trouvé qu'un petit nombre d'étoiles, les plus claires et les moins éloignées; mais dans l'enfoncement il avoit distingué une blancheur nébuleuse qui se transformoit en étoiles dans son télescope de 7 pieds. Dans celui-ci, il découvroit sur un fond plus éloigné, des traces de nébulosités qu'éclaircissoit son télescope de 10 pieds, et plus encore celui de 13. Celui-ci laissoit de même sur un plan céleste

plus enfoncé, de nouvelles traces nébuleuses qui se résolvoient en étoiles dans son télescope de 27 pieds, et dans cet instrument, beaucoup plus grand, toutes les nébulosités n'étoient pas dissoutes. M. Schroeter pense qu'elles l'auroient été dans un télescope d'une plus grande force, mais qu'elles en auroient laissé d'autres dans des régions du ciel plus profondes. C'est ainsi que derrière ces nuages de corps célestes qui se présentoient sans cesse devant lui, à mesure qu'il pénétroit plus avant dans les cieux, il voyoit s'éloigner de plus en plus les bornes de l'univers, comme un voyageur voit toujours se retirer devant lui les bornes de son horizon.

Les vues que s'est proposées M. Schroeter dans ses observations, ont été principalement dirigées vers la connoissance des phénomènes que présentent les planètes à leur surface. Les durées de leur rotation, les densités de leurs atmosphères, les hauteurs de leurs montagnes sont les objets vers lesquels il a presque entièrement porté son attention. C'étoit un champ à peine encore cultivé, qui pouvoit promettre une nouvelle moisson de gloire, mais qui n'étoit pas à l'abri des influences de l'imagination.

La rotation de Vénus avoit été déjà plusieurs fois l'objet des recherches des astronomes; mais ce qui doit paroître étonnant, c'est l'énorme différence qu'ils trouvoient dans sa durée. Dominique Cassini, qui l'observa vers l'année 1666, fit tourner la planète sur son axe en 23 heures et demie. Bianchini, quarante ans après, trouva qu'elle n'achevoit sa révolution sur elle-même qu'en 24 jours. Depuis plus d'un demi-siècle, la question paroissoit encore indécise, quoique Jacques Cassini eût montré la possibilité de concilier les observations de

Bianchini avec une rotation de 23 heures 20 minutes : c'est ce dernier résultat que vient de confirmer M. Schroeter par des observations suivies avec persévérance pendant plusieurs années, sur les diverses apparences des cornes de la planète et de quelques points de lumière situés vers les bords de sa partie obscure. Il a vu quelquefois dans sa phase croissante, la largeur de l'une des cornes double de celle de l'autre, et vers sa plus grande élongation, l'une pointue et l'autre ronde. Ayant donc conclu sa rotation de ses observations faites depuis le 28 décembre 1789, à 5 heures du soir, jusqu'au 27 février 1793, à 6 heures 41 minutes, il l'a trouvée d'environ 23 heures 21 minutes 19 secondes (1).

L'examen suivi des mêmes apparences l'a convaincu qu'il *s'élevoit à la* surface de la planète, des montagnes d'une grandeur extraordinaire. Il a vu les rayons du soleil dorer les sommets de leurs masses monstrueuses, plongées dans l'obscurité de la nuit. En les comparant avec celles de la lune, il a trouvé le rapport de leurs hauteurs (2) égal à celui de leurs diamètres respectifs, rapport qui donne aux montagnes de Vénus une hauteur environ cinq fois plus grande que celle des plus hautes montagnes de la terre.

(1) M. Schroeter a trouvé ce résultat, que M. Herschel regarde encore comme incertain, en divisant 1157j 1h 41′, intervalle de temps que comprennent quatre années consécutives d'observations, par 1189,28, nombre des révolutions de la planète sur son axe.

(2) Le diamètre de la terre étant pris pour unité, ceux de la Lune et de Vénus sont respectivement de 2,272 et de 0,970. En admettant le rapport de M. Schroeter entre les montagnes de Vénus et celle de la Lune, et la plus grande hauteur de ces dernières égale à 25 mille pieds, les plus hautes montagnes de Vénus seroient d'environ 89215; c'est-à-dire, un peu plus de quatre fois et demie les plus hautes montagnes de la terre.

Il s'est assuré par les diverses gradations de la lumière vers les limites qui séparent la partie obscure de la partie éclairée, que la planète est environnée d'une atmosphère à peu près aussi dense que l'atmosphère terrestre, et capable de produire une réfraction horizontale d'environ 30 minutes et des crépuscules du matin et du soir à peu près égaux à ceux de la terre. Il donne à sa partie la plus épaisse une hauteur de 9 à 10 milles géographiques; mais il la croit moins sujette que la nôtre à ces sortes de variations qui la font passer tour à tour de l'état de condensation à celui de sérénité.

Vénus présente rarement des taches et paroît jouir d'un jour plus pur que la terre; mais il est probable qu'elle éprouve des changemens considérables de saisons par la grande inclinaison de son équateur sur l'écliptique, inclinaison que M. Schroeter a conclue sans la déterminer, des altérations qu'il a remarquées dans les cornes de son croissant.

C'est par une suite d'observations analogues à celles qu'il a faites sur Vénus, qu'il a prouvé l'existence de l'atmosphère de Mercure, sur lequel il n'a découvert d'ailleurs aucune de ces bandes qui distinguent principalement Mars, Jupiter et Saturne. Il a fixé sa rotation d'abord à $24^h 4'$, et par des observations ultérieures, à $24^h 0' 50'',2$.

Il a remarqué sur la planète, non-seulement de hautes montagnes isolées et des collines éparses, mais encore de grandes chaînes de montagnes dont les ombres se prolongent très-loin dans les vallées, et qui sont à celles de Vénus, relativement à leurs hauteurs, dans le rapport des rayons des deux planètes, rapport qui donne aux plus hautes montagnes de Mercure environ 32400 pieds.

La forme de la planète lui paroît parfaitement ronde, et son équateur considérablement incliné sur son orbite, position qui lui fait présumer qu'elle est sujette, comme Vénus, aux plus grandes vicissitudes de saisons, ainsi qu'aux plus grandes variations de jours et de nuits.

Il a trouvé dans la planète de Mars un aplatissement peu considérable, beaucoup de changemens et d'irrégularités dans son atmosphère et dans ses taches, et les régions du pôle austral très-brillantes. D'après les mouvemens qu'il a remarqués vers son équateur, il lui paroît très-certain que cette partie de sa surface est agitée par des vents semblables à ceux qui soufflent à la surface de la terre. Il a même observé pendant plusieurs jours une tache dont le mouvement, un peu irrégulier, vu de la planète, lui paroissoit dirigé du nord-ouest au sud-est et d'environ vingt pieds par seconde.

M. Schroeter a fait encore sur l'anneau de Saturne un grand nombre de recherches curieuses; il a déterminé les dimensions (1) de cette grande voûte circulaire à laquelle il attribue une atmosphère semblable à celle de la planète; il l'a divisée en deux anneaux concen-

---

(1) Dimensions de l'anneau de Saturne, extraites des fragmens kronographiques de M. Schroeter, le diamètre de la planète étant supposé de 17362 milles géographiques.

Diamètre de l'anneau extérieur	40565 milles géograp.
Sa largeur	1379
Largeur du tranchant	113
Espace compris entre les deux anneaux	568
Diamètre de l'anneau intérieur	36671
Sa largeur	3955
Sa distance à la planète	5700

triques, et chaque anneau en un grand nombre de masses séparées qui ne lui paroissent pas situées exactement dans un même plan géométrique ; il a trouvé le plan de l'anse orientale légérement incliné du nord au sud vers celui de l'anse occidentale.

Mais une de ses observations les plus remarquables est celle de l'immobilité de l'anneau. M. Scrhoeter et son habile collaborateur, M. Harding, ont découvert sur ce grand corps un point brillant qu'ils ont observé pendant cinq mois, souvent trois ou quatre heures. Ce point, que M. Schroeter nomme *le nœud de Harding*, et regarde comme une montagne très-élevée (1), ne leur a jamais paru changer de position par rapport au plan de l'équateur de la planète. Ils ont toujours vu la partie occidentale plus éclairée que la partie orientale, et même en 1803, M. Schroeter appercevoit distinctement la première et ne découvroit aucune trace de la seconde. Il en a conclu que l'anneau présente toujours au soleil le même côté, qu'il n'a qu'une rotation improprement dite, dont la période est de trente ans ; c'est-à-dire, qu'il tourne sur son axe, comme tous les satellites, pendant la révolution périodique de la planète ; conséquence fort différente de celle de la théorie de M. Laplace et des observations de M. Herschel, qui leur donnent une rotation rapide d'environ 10 heures 32 minutes.

On ne peut se défendre de quelque surprise, lors qu'on voit deux observateurs, tels que MM. Herschel et Schroeter, se trouver en opposition si directe. L'un a vu

(1) M. Schroeter donne à la montagne dont il est ici question une hauteur de 168 milles géographiques.

l'anneau se mouvoir avec la plus grande rapidité, l'autre l'a trouvé presque immobile. Cependant leurs observations, quoique opposées dans leurs résultats, méritent une égale confiance : mais si l'on ne peut douter de la véracité de celles de M. Schroeter, on ne peut non plus se refuser d'admettre une rotation nécessaire à la conservation de l'anneau, rotation dont la durée, découverte d'abord par l'analyse, s'est trouvée ensuite conforme à toutes les apparences qui se sont offertes aux regards de l'un des plus grands observateurs connus.

Dans ce conflit de deux opinions contraires, également fondées sur l'observation, ce que l'on peut imaginer de plus vraisemblable, c'est que les deux célèbres astronomes ont vu sur l'anneau des phénomènes différens par *leur* nature, que de là résultent les conséquences contradictoires qu'ils en ont tirées. En admettant celle de M. Herschel, qui s'accorde si bien avec la théorie, il reste peut-être à donner aux observations de M. Schroeter une interprétation plausible, à chercher si l'anneau, dont la construction paroît si variée, ne peut pas nous laisser appercevoir dans certaines circonstances, sous la forme de points brillans, quelques traces lumineuses dont les positions ne changent qu'avec lenteur, quoique le corps entier tourne rapidement sur son axe.

Telles sont les principales observations faites par M. Schroeter sur Vénus, Mercure, Mars et l'anneau de Saturne ; mais l'astre vers lequel il paroît avoir dirigé plus particulièrement son attention, c'est le plus voisin de la terre, le plus à portée des regards de ses habitans, c'est la lune, dont la surface nous présente, en raison de sa proximité, des phénomènes encore plus capables de nous intéresser.

M. Schroeter a parcouru tour-à-tour, avec son télescope, ses plaines, ses vallées, ses coteaux, ses montagnes annulaires; il a pénétré dans les profondeurs de ses cratères; il en a vu de petits, enclavés dans des grands, lui marquer sur le globe lunaire, des traces sensibles des nombreuses révolutions qui se sont succédées à sa surface.

Parmi les phénomènes qu'il a découverts, quelques-uns n'ont fait que se montrer momentanément: tels sont les points lumineux qu'il a vus, l'un en 1774, l'autre en 1788, briller comme des étoiles, s'éteindre par degrés et ne plus reparoître; telles sont encore de nombreuses traces de lumière qui paroissoient alternativement jeter un grand éclat et se plonger tout-à-coup dans l'obscurité. Ces apparences singulières, présentées à ses yeux en 1794, se sont renouvelées pour lui en 1796. « Elles ressem-» bloient, dit M. Schroeter, au tissu irrégulier des » veines d'un animal, dont le nombre ne peut être » évalué. »

Des phénomènes permanens, inhérens au corps même de la lune, ont été aussi découverts par cet astronome; tels sont deux lits profonds ou canaux d'une étendue considérable, qu'il a constamment observés depuis le mois de février 1792, jusqu'au mois de février 1796, et qu'il a retrouvés avec le docteur Olbers en 1798.

M. Schroeter s'est occupé en même temps et de la recherche des phénomènes que présente la lune à sa surface, et des observations qui pouvoient lui servir à déterminer les profondeurs de ses abîmes, les hauteurs de ses montagnes, celles de son atmosphère et sa densité: il a trouvé par les directions des ombres, que les diverses profondeurs obervées sont abaissées au-dessous de

de sa surface, depuis 18 cents jusqu'à 16 mille pieds, et que les montagnes s'élèvent au-dessus, depuis 100 jusqu'à 25 mille pieds, c'est-à-dire, qu'elles surpassent d'environ mille toises le Chimboraço, la plus haute montagne de la terre.

Il a fait une remarque bien digne de fixer l'attention du philosophe scrutateur de la nature, c'est que les plus hautes montagnes sur la terre, dans la lune, Vénus et Mercure, sont situées sur l'hémisphère méridional, que les excavations les plus profondes de la lune sont aussi dans le même hémisphère; il en a tiré les preuves, pour la terre, des Voyages Géographiques; pour la lune, des nombreuses mesures de ses montagnes, de ses cratères; pour Vénus et Mercure, des observations de leurs phases (1). Il a conclu de cette différence dans les inégalités du nord et du midi de ces globes planétaires, que leurs parties australes ont été les théâtres de plus grands bouleversemens, qui ne peuvent avoir été produits que par des actions plus puissantes.

En laissant aux physiciens géomètres le soin de découvrir la cause de ces grandes révolutions physiques, M. Schroeter cherche dans le principe de la gravitation le moyen d'expliquer la supériorité des montagnes de la lune sur celles de la terre. Il observe qu'à la surface de la lune la pesanteur est environ cinq fois moindre qu'à celle de la terre, que si la même force étoit supposée agir sur les deux planètes pour transformer des plaines en montagnes, elle éprouveroit moins

(1) Voyez les Fragmens aphroditographiques de M. Schroeter, § 1 jusqu'à 95, et les Fragmens hermographiques du 3ᵉ volume de ses Suppléments astronomiques, § 32 jusqu'à 55.

de résistance sur la première, et produiroit nécessairement des effets plus grands, tant pour creuser des vallées que pour former des éminences. Il trouve en effet qu'en comparant les plus hautes montagnes de la lune et de la terre à leurs diamètres respectifs, les premières sont environ (1) cinq fois plus grandes que les secondes. Ce raisonnement, qui paroît plausible relativement aux montagnes de la lune, ne seroit point applicable aux montagnes de Vénus, qu'il regarde comme beaucoup supérieures à celles de la terre, quoique les masses (2) de ces deux planètes soient peu différentes.

Les observations de M. Schroeter sur l'atmosphère de la lune ne sont pas moins intéressantes que celles qu'il a faites sur les hauteurs de ses montagnes et les profondeurs de ses cratères. C'est une opinion généralement reçue, que l'enveloppe atmosphérique de notre satellite est peu sensible; son existence même a été révoquée en doute. Plusieurs astronomes et géomètres ont essayé de la prouver, Euler et Lemonnier, par les durées des éclipses; Duséjour, par la réfraction horizontale, qu'il ne trouvoit cependant que d'un petit nombre de secondes. M. Schroeter, muni de meilleurs instrumens que ses prédécesseurs, a cherché s'il pourroit la reconnoître par des observations plus directes, s'il pourroit mesurer sa hauteur, en observant l'augmentation graduelle de

(1) Les plus hautes montagnes de la lune, suivant M. Schroëter, sont de 25 mille pieds, ou $\frac{1}{428,5}$ du diamètre de la lune. Le Chimboraço, la plus haute montagne de la terre est de 19 mille pieds, ou $\frac{1}{2064,7}$ du diamètre de la terre; 428,5 est à 2064,7, comme 1 est à 4,818, rapport qui se rapproche beaucoup de celui de 1 à 5.

(2) Les masses de Vénus et de la terre, celle du soleil étant prise pour unité, sont respectivement, d'après leurs dernières déterminations, $\frac{1}{356632}$, $\frac{1}{337086}$. *Exposition du Système du Monde*, 3e *édition*, *page* 208.

la lumière crépusculaire à la surface de la lune, en la suivant dans ses développemens, à mesure qu'elle s'étend sur son hémisphère dirigé vers la terre. Après plusieurs années de travaux et d'expériences difficiles sur la véritable mesure et l'extension du crépuscule, il a trouvé qu'au point le plus élevé où l'atmosphère de la lune soit capable de réfléchir la lumière de la terre, sa hauteur perpendiculaire est de 234 toises ou de 14 cent quatre pieds, que c'étoit celle de sa partie la plus dense, mais qu'elle avoit une étendue beaucoup plus considérable, qu'elle pouvait encore réfléchir les rayons du soleil jusqu'à la hauteur de 8 mille pieds, qu'elle cessoit au-delà d'avoir sensiblement la faculté de produire aucune lumière crépusculaire. Cette hauteur comparée à celle de 38 *mille toises*, attribuée à l'atmosphère terrestre, n'en est à peu près que la 29e partie.

Une conséquence naturelle à déduire de la hauteur de l'atmosphère de la lune, est la durée de son crépuscule. Nous savons que sur la terre nous sommes éclairés des rayons du soleil réfractés par l'atmosphère terrestre, lorsqu'il est à 18 degrés au-dessous de notre horizon. Par un résultat moyen entre un grand nombre de mesures et d'observations, M. Schroeter a trouvé que cette extension de 18 degrés pour le crépuscule terrestre n'est que de 2° 38′ 56″ pour le crépuscule lunaire. De cette détermination, de l'inclinaison de l'écliptique sur l'équateur et l'orbite de la lune, et de la durée de sa rotation sur son axe, il a conclu que celle de son crépuscule le plus clair, lorsqu'elle est dans ses nœuds, n'est que de 4h 49′ 29″, mais que sa durée est beaucoup plus longue dans les autres temps, suivant les différentes positions des points de sa surface. C'est ainsi que la durée du cré-

puscule terrestre varie suivant les saisons et les différens degrés de latitude.

Dans le temps où M. Schroeter trouvoit, d'après ses observations, que l'atmosphère de la lune n'est capable de réfléchir les rayons du soleil, ou de produire la lumière crépusculaire qu'à une hauteur environ 29 fois moindre que celle de l'atmosphère terrestre, M. Melanderjelm, astronome habile de l'Académie de Stockolm, lui communiquoit sur les densités des atmosphères des planètes une loi qu'il regardoit comme celle de la nature. Suivant cette loi, les densités des fluides dont ces corps sont environnés, sont comme les carrés des pesanteurs à leur surface, d'où M. Melanderjelm concluoit que le même corps étant environ trois fois plus pesant à la surface de Jupiter qu'à la surface de la terre, l'atmosphère de Jupiter à sa surface devoit être neuf fois plus dense que l'atmosphère de la terre à sa surface.

M. Schroeter ayant appliqué ce principe à l'atmosphère de la lune, a trouvé qu'elle était environ 29 fois moins dense (1). Mais cette densité 29 fois moindre, lui supposeroit encore une force réfractive d'environ une minute; résultat qui s'accorde peu avec celui d'Euler qui ne la supposoit capable que d'une réfraction de 20 secondes, et beaucoup moins encore avec celui de Duséjour qui la réduisoit, d'après les diverses circonstances des éclipses, à $2''\frac{1}{4}$. L'influence presque insensible de

(1) Suivant les principes de Newton, la pesanteur des corps à la surface de la lune est à leur pesanteur à la surface de la terre, comme 1 est à 5, 33. Si les densités des atmosphères des planètes suivent le rapport des carrés des pesanteurs des corps à leur surface, l'atmosphère de la lune doit être à sa surface 28,40 fois moins dense que l'atmosphère de la terre à sa surface.

l'atmosphère de la lune sur leurs durées rend au moins très-incertaine la détermination de sa densité déduite du principe de M. Melanderjelm.

Quoique M. Schroeter attribue à l'atmosphère de la lune une densité beaucoup plus grande que celle que lui donnent la plupart des astronomes, il avoue cependant que dans le cours de ses observations, il n'a pu découvrir à sa surface aucune de ces taches noires et variables que l'on observe dans les planètes de Mars, de Jupiter, de Mercure et de Vénus. Son atmosphère ne lui a point présenté les changemens sensibles qu'éprouvent les atmosphères des autres planètes, mais toutes les apparences d'une température presque uniforme, qui lui paraît être une suite de la lente rotation de cet astre sur son axe, de la succession insensible de ses jours, de ses crépuscules et de ses nuits, ainsi que du peu de densité de son enveloppe atmosphérique. Il pense qu'il doit régner difficilement à sa surface des vents réguliers d'est et d'ouest, et que ceux qui peuvent l'agiter doivent être extrêmement doux et tempérés. Les nuages lunaires ne se présentent à son esprit que comme des vapeurs légères qui s'élèvent dans de petits espaces au-dessus des vallées et des basses montagnes, retombent sur elles comme une douce rosée et les fertilisent.

Telle est en effet l'organisation attribuée à la lune par M. Schroeter, qu'il ne balance point à la regarder comme la demeure d'êtres vivans doués d'intelligence. Cette idée qui n'a paru dans les écrits des anciens philosophes, et dans ceux de quelques astronomes modernes, que comme une conjecture physique, dans les Mondes de Fontenelle, que comme une fiction agréable, est présentée dans les Fragmens sénélographiques de M. Schroeter,

comme une vérité qui ne peut laisser aucun doute. Il a cru remarquer dans la lune plusieurs ressemblances frappantes avec notre terre. Il a découvert dans différentes contrées plusieurs élévations qu'il croit pouvoir aussi bien attribuer à l'industrie qu'à la nature. Il en a vu qui lui paroissoient rassemblées en masse comme les habitations dont se composent nos villes.

La subtilité de l'atmosphère de la lune, le grand nombre de ses montagnes et de ses cratères, le manque d'eaux à sa surface ne lui paroissent point des obstacles qui l'empêchent d'être habitée. Il pense que dans l'organisation de cet astre, tout doit être en harmonie; qu'il n'est pas moins facile à des êtres vivans dont la pesanteur est environ cinq fois moindre, qui respirent dans un air atmosphérique 29 fois moins dense, dans lequel ils ne trouvent qu'une foible résistance, de parcourir ses montagnes, qu'à l'homme de parcourir les plaines de la terre; que si la lune manque d'eaux, elle peut renfermer dans son sein quelque liquide propre à la nature des êtres organisés qui peuvent l'habiter, et que dans cette supposition les deux canaux remarquables qu'il a découverts, pourroient bien être des fleuves de la luue et servir aux usages de ses habitans.

Malgré son intime conviction sur l'existence des Sélénites (1), M. Schroeter rapporte qu'un savant distingué par son mérite, qui ne partageoit point son opinion, ne croyoit pas la lune assez bien organisée pour servir de demeure à des êtres doués de sentiment et de raison. Il auroit pu trouver encore un adversaire illustre dans

(1) Nom donné par Hevelius aux habitans de la lune.

Buffon, qui regardait la lune comme un globe éteint (1) et privé depuis plus de vingt siècles, de la chaleur qui vivifie.

Tout ce qu'avance sur cet objet l'auteur des Fragmens sélénographiques, peut bien servir à prouver qu'il n'est pas impossible que la lune soit habitée, mais ne nous paroît pas devoir suffire pour prouver qu'elle le soit réellement, même par des êtres d'une nature fort différente de ceux qui vivent sur la terre; rien n'y constate suffisamment l'existence des liquides nécessaires à leur usage et à la végétation. Tout ce que l'examen de sa surface présente de plus certain, c'est l'apparence d'une masse aride, presqu'entièrement scorifiée par les volcans, et celle d'une atmosphère extrêmement rare à peine *sensible* dans les durées des éclipses du soleil.

On ne peut nier cependant que l'opinion de M. Schroeter ne soit séduisante pour l'imagination. On aime à parcourir avec lui la surface visible de la compagne fidelle de la terre, à le suivre dans ses abîmes et sur la cime de ses montagnes, à reconnoître les traces de ses révolutions successives, à s'arrêter aussi sur les images plus douces de ces vapeurs légères qui portent la rosée propre à fertiliser ses campagnes, sur cette lente succession de jours, de crépuscules et de nuits, dont la période est presque égale à celle de nos mois, sur cette température qui n'est jamais troublée par la fureur des vents impé-

---

(1) D'après les idées hypothétiques de Buffon; la nature vivante, telle que nous la connoissons, est éteinte dans la lune depuis 2318 ans. *Recherches sur le refroidissement de la terre et des planètes*, tome 4e des *Supplémens*, pag. 298, édition in-12.

tueux; on aimeroit enfin à découvrir, dans l'astre le plus voisin de nous, les signes évidens d'un sol habité, et des monumens certains d'industrie et d'intelligence.

Tous les objets dont s'est occupé M. Schroeter sont dignes d'exciter l'intérêt ou de piquer la curiosité. Les recherches difficiles, les observations délicates auxquelles il s'est livré, sont à la vérité peu susceptibles d'une grande précision; mais elles ne pouvoient être entreprises que par un astronome très-habile dans l'art d'observer, et possesseur des meilleurs instrumens; elles ne peuvent être aussi justement appréciées qu'avec le temps; l'histoire, en attendant, doit louer les efforts et la constance de leur auteur, et désigner à la postérité les nombreux objets de ses pénibles travaux. Elle doit dire que tout ce qu'il a fait pour l'Astronomie annonce à la fois le savant distingué, le grand observateur, et l'homme vivement épris des merveilles que présente le spectacle de l'univers.

Article III.

Observations de M. de Humboldt sur les réfractions astronomiques dans la zône torride.

Parmi les observations astronomiques, les unes, semblables à celles dont nous venons de parler, permettent à l'observateur d'étudier tranquillement le ciel dans une résidence fixe; d'autres l'arrachent de sa demeure, l'entraînent aux extrémités du monde, et souvent dans des contrées presque inhabitées : telles sont, dans certains cas, les observations des passages de Vénus, des éclipses desoleil et d'étoiles; telles sont encore les observations du

du pendule et celles des phénomènes qui, comme les réfractions, ne peuvent être complètement connus que lorsqu'ils ont été examinés dans les diverses circonstances qui les modifient.

Depuis Dominique Cassini, de grands voyages ont été entrepris pour observer les inflexions de la lumière dans des climats différens, à différentes hauteurs au-dessus du niveau des mers. Cayenne, le cap de Bonne-Espérance, Quito, la côte de Coromandel et Pondichéri ont été les témoins des travaux de Richer, la Caille, Bouguer et le Gentil, sur le phénomène des réfractions.

A ces noms illustres nous devons unir maintenant celui de M. de Humboldt: guidé par son amour pour les sciences et les progrès de l'astronomie, ce voyageur célèbre vient d'ajouter ses *recherches* à *leurs* travaux et de parcourir, *pour l'objet* qui les ont occupés, les régions équinoxiales.

Il a eu pour compagnon et pour ami dans son voyage, M. Bonpland, animé comme lui de cet amour des sciences qui fait surmonter tous les obstacles et braver tous les dangers.

Après un séjour de cinq mois en Espagne, ces deux savans s'embarquèrent ensemble le 5 juin 1799, et se trouvèrent, le 13 juillet, à la vue des côtes élevées de Tabago, mouillèrent le 16 au port de Cumana, d'où ils se rendirent dans l'intérieur de la nouvelle Andalousie. Ils firent plusieurs excursions sur les hautes montagnes de ces contrées, revinrent à Cumana où ils s'embarquèrent le 18 novembre de la même année et se portèrent à Caraccas pour pénétrer jusqu'à l'Orénoque et dans l'intérieur de la Guiane (1).

(1) Voyage d'Alexandre de Humboldt et Aimé Bonpland, 4e partie.

Pendant le cours d'un voyage de cinq ans qu'ils consacrèrent à tous les objets qui peuvent intéresser la Géographie, l'Histoire naturelle et la Physique, M. de Humboldt ne négligea rien de tout ce qui pouvoit aussi le rendre utile aux progrès de l'Astronomie nautique. Il fixa les positions du môle de Sainte-Croix de Ténériffe, du port de Cumana, de San Fernando, et d'un grand nombre d'autres points importans pour les géographes et les navigateurs; mais je ne dois parler ici que de ses travaux sur les réfractions, dont il a donné les résultats dans un excellent Mémoire lu à la première classe de l'Institut le 29 février 1808.

L'objet qu'il avoit en vue étoit d'examiner si les réfractions astronomiques sont les mêmes sous l'équateur, que celles que l'on observe dans les zônes tempérées; c'est en suivant les principes de l'auteur de la Mécanique céleste, qu'il a développé ses recherches sur la solution de cet important problème.

Frappés des différens effets des réfractions, les astronomes ont cru long-temps qu'elles devoient varier suivant les saisons et les différentes régions de la terre. C'étoit l'opinion de Rothman, de Kepler et de Tycho. D'après l'examen des réfractions horizontales observées à Torneo, Picard et Dominique Cassini pensèrent que les réfractions sous le cercle polaire étoient doubles de celles que présente le parallèle de Paris. Richer les croyoit beaucoup moindres à Cayenne qu'en Europe. Bouguer érigea même en théorie les différences observées entre les réfractions de la zône torride et celles des zônes tempérées. Ces différences dépendantes des effets de la chaleur et du poids de l'air, étoient attribuées

à la nature de l'atmosphère que l'on croyoit variable suivant les climats.

Mayer et Lacaille ramenèrent le problème à son véritable point de vue ; ils ne virent dans une table de réfraction qu'une représentation de l'état de l'atmosphère sous une pression et à une température données, et construisirent, d'après ce principe, des tables dont l'usage pouvoit s'étendre à tous les pays de la terre.

Les observations faites par Legentil en 1769, dans son voyage aux Indes Orientales, confirment les idées de Mayer et de Lacaille. Ces observations, calculées de nouveau par M. Delambre en 1795, prouvent que les réfractions dans la zône torride sont sensiblement les mêmes qu'à Paris. Il résulte également des expériences exactes de MM. Biot et Arago sur les forces réfringentes des *mélanges gazeux*, que les tables de réfraction construites en Europe, peuvent servir sans modification sous un parallèle quelconque.

Enfin M. de Humboldt ayant comparé ses observations sur le décroissement de la chaleur dans les Cordilières du Mexique, avec les expériences faites en Europe, a trouvé l'harmonie la plus frappante dans leurs résultats; et lorsqu'ils furent communiqués à l'Institut en 1805, M. Laplace observa que si la loi du refroidissement des couches atmosphériques étoit la même sous les tropiques qu'en Europe, les réfractions près de l'horzion devoient être plus grandes que ne les supposent avec Bouguer, la plupart des astronomes. Cette observation d'un géomètre dont l'opinion est d'un si grand poids dans les sciences physiques et mathématiques, était un motif puissant pour exciter M. de Humboldt à de nouvelles recherches sur les réfractions de la zône torride, sur la constitution

chimique de l'atmosphère, sous le rapport de son influence sur la déviation de la lumière. C'est ce nouveau travail de M. de Humboldt que nous nous proposons ici de faire connoître.

L'air atmosphérique est un mélange (1) d'azote et d'oxigène, d'une très-petite quantité d'acide carbonique, et d'une partie presque insensible d'hydrogène. Les puissances réfringentes de ces différens fluides ne sont pas les mêmes. Suivant les expériences de MM. Biot et Arago, l'oxigène est celui de tous qui produit la moindre déviation du rayon lumineux. Son pouvoir réfringent est à celui de l'azote dans le rapport de 86 à 103. Il est à celui de l'hydrogène, fluide dont la force réfractive est la plus grande et surpasse au moins six fois celle de l'air atmosphérique, comme 1 est à 8. La force réfringente de l'acide carbonique est à peu près la même que celle de l'air, et ne la surpasse que de 4 millièmes.

Il est évident que si la proportion de ces fluides étoit variable suivant les différences des saisons et des climats, la force réfringente de l'atmosphère éprouveroit des variations correspondantes; mais M. de Humboldt démontre, d'après ses expériences et celles de M. Gay-Lussac, que la proportion des parties constituantes de l'atmosphère est toujours à très-peu près la même sur la surface de la terre, qu'elle ne change pas du moins depuis le niveau de l'océan jusqu'aux plus grandes hauteurs où l'on puisse atteindre, que l'air atmosphérique recueilli dans un nuage,

---

(1) Suivant MM. de Humboldt et Gay-Lussac, l'air atmosphérique est composé de 210 parties d'oxigène sur mille, de 786 d'azote et de 4 d'acide carbonique. *Journal de Physique et de Chimie, année 1805, tome 60 page 99.*

au sommet d'une montagne, à plus de six mille cinq cents mètres d'élévation perpendiculaire, ne diffère pas sensiblement de celui des plaines. L'analyse chimique ne lui prouve point qu'il soit pénétré d'aucune partie sensible d'hydrogène; il n'en découvre aucune apparence (1) dans l'air des climats d'Europe, de quelque région que souffle le vent le plus impétueux. Il regarde aussi l'influence de l'acide carbonique comme insensible sur le jeu ordinaire des réfractions, et par sa force réfractive peu différente de celle de l'air atmosphérique, et par sa quantité, qu'il évalue sous l'équateur, de 3 à 8 millièmes. Il ne découvre enfin dans la constitution chimique de l'atmosphère, ni dans l'action réciproque des parties qui la composent, ni dans la condensation plus ou moins grande des *élémens* aériformes, aucune cause *qui puisse* expliquer une diminution de la force réfringente dans la zône torride. Il n'y découvre aucune modification particulière indépendante de la température et de la pression barométrique de l'air.

Il observe encore que si les grandes masses d'eau répandues dans l'atmosphère des tropiques, doivent influer sur les réfractions, c'est plutôt pour les augmenter que pour les diminuer; mais il prouve qu'elles ne sont pas sensiblement altérées par l'humidité, les brouillards et les nuages; il le prouve par l'expérience, qui ne découvre aucune différence dans leurs effets, pendant que l'hygromètre indique de fortes variations d'humidité;

---

(1) Le même résultat est confirmé par MM. Biot et Arago qui trouvent le plus grand accord entre le pouvoir réfringent de l'air atmosphérique observé, et son pouvoir réfringent calculé dans la supposition que l'atmosphère est un pur mélange d'azote et d'oxigène.

par des observations exactes d'Antarès, dont les passages au méridien ne donnent pas des angles sensiblement différens dans un temps sec ou dans des brumes épaisses; par celles du soleil dont les rayons, en traversant les nuages qui laissent appercevoir ses bords, n'éprouvent aucune différence dans leur inflexion. Il trouve enfin dans l'air des climats d'Europe et celui des tropiques, les mêmes causes et les mêmes effets.

Cependant, malgré l'identité de la composition chimique de l'atmosphère dans toutes les zônes, il seroit possible que la loi du décroissement de la chaleur fût différente dans la zône torride et mît quelque différence dans les réfractions horizontales. C'est sur l'examen du refroidissement des couches atmosphériques, à mesure qu'elles sont plus élevées, que M. de Humboldt a le plus consulté l'expérience, qu'il a le plus exercé ses forces et son courage, tantôt à la cîme du pic de Ténériffe, tantôt aux sommets du Pichincha et du Chimboraço, et sur les hautes Cordilières du Mexique. C'est dans ses excursions fréquentes sur les plus hautes montagnes du globe, qu'il a fait, souvent au péril de sa vie, des observations qu'aucun voyageur n'avoit encore tenté de faire sous les tropiques.

Avant que de donner les résultats de ses nombreuses expériences, il cherche les causes qui peuvent modifier la loi du décroissement de la chaleur; il explique comment elle augmente avec la densité croissante des couches, devient plus sensible vers la surface solide du globe, comment les couches voisines du sol, dilatées par les rayons solaires qu'elles interceptent, et devenues ainsi plus légères, remontent vers la partie supérieure de l'atmosphère et produisent les effets du calorique rayon-

nant et du courant ascendant qui n'avoient point échappé, dit M. de Humboldt, à la sagacité d'Aristote.

Mais voyons comment il a consulté l'expérience, le meilleur guide que l'on puisse avoir dans cette matière; par quels moyens il a cru pouvoir reconnoître la loi suivant laquelle décroît la chaleur des couches atmosphériques. Les seuls qui lui paroissent propres à donner des résultats certains, sont les ascensions aérostatiques et les voyages vers la cîme des montagnes isolées et à pente rapide. Il a fait en conséquence avec son ami, M. Bonpland, depuis le mois de juin 1799 jusqu'au mois de février 1804, huit excursions pénibles aux sommets des montagnes les plus élevées de la terre. Les hauteurs des colonnes d'air qu'il a traversées, sont la plupart entre trois mille et cinq mille huit cents mètres. Il a calculé, d'après les diverses colonnes parcourues, la hauteur moyenne à laquelle la chaleur décroît d'un degré du thermomètre centigrade, et celle à laquelle elle décroît d'un degré du thermomètre de Réaumur; il a trouvé, pour la première, 161 mètres et 4 décimètres, et pour la seconde, 122 toises et 3 dixièmes.

Il a poussé plus loin ses observations, et poursuivant toujours avec une constance courageuse les résultats de l'expérience, il a cherché si la température moyenne de l'atmosphère étoit la même pour des hauteurs égales sur un vaste plateau que sur un pic isolé. Il a reconnu que les grandes villes de Quito, de Santa-Fe de Bogota, de Mexico et de Popayan, élevées de dix-huit cents à trois mille mètres au-dessus du niveau de la mer, avoient une température de beaucoup supérieure à celle qu'elles devroient avoir proportionnellement à leur hauteur; que le décroissement de la chaleur sur les plateaux dans les

quels elles sont situées, est beaucoup moins rapide; qu'elle ne décroît d'un degré du thermomètre centigrade que pour 258 mètres et 4 décimètres, et d'un degré du thermomètre de Réaumur, que pour une élévation de 165 toises et 7 dixièmes de toise, que sur le dos prolongé de la Cordilière du nouveau Continent les hautes plaines des Andes présentent à seize cents mètres de hauteur, la température moyenne d'Alger; à deux mille sept cents mètres, celle de Forence et de Rome; et qu'à la même hauteur, des montagnes isolées à pente rapide, présentent une température de beaucoup inférieure. Il trouve la raison de cette différence dans la chaleur des rayons solaires reçue et répercutée avec plus d'énergie par la surface du sol que par l'air atmosphérique, qui n'est presque entièrement échauffé que par le calorique rayonnant et le courant ascendant dont parle Aristote.

Pour appuyer ses résultats sur le plus grand nombre possible d'expériences, M. de Humboldt examine s'il pourroit encore découvrir la loi du décroissement du calorique dans la température décroissante des sources plus ou moins élevées au-dessus du niveau de l'Océan; dans celle des cavernes profondes; dans les différentes limites qui paroissent assignées aux neiges perpétuelles depuis le pôle jusqu'à l'équateur. Mais il trouve ces divers phénomènes physiques, quelque intéressans qu'ils soient d'ailleurs pour le naturaliste, trop assujettis aux influences locales pour présenter des données certaines sur la loi du décroissement de la chaleur.

Les expériences qui lui paroissent aussi propres à la constater, que les voyages faits à la cime des montagnes escarpées, sont les ascensions aérostatiques. Celle de M. Gay-Lussac faite au-dessus de Paris, à l'invitation de

la

la Classe des sciences physiques et mathématiques de l'Institut, dans un moment où l'élévation du thermomètre centigrade étoit, à terre, de 27 degrés, lui paroît décisive. Le résultat qu'elle présente ne diffère que de deux mètres de celui qu'il avoit obtenu dans ses pénibles excursions sur les montagnes équatoriales. Observateur passionné des phénomènes de la nature, il est pénétré d'admiration à la vue d'un accord si frappant, à la vue de cette égale distribution du calorique, de cet équilibre de température dans lequel se placent des couches d'air horizontalement éloignées, les unes des autres, de plus de deux mille lieues.

Cet accord qui résulte de la comparaison des observations faites sous les tropiques, avec les expériences faites en Europe pendant l'été, lorsque la température moyenne des plaines étoit à peu près égale à celle de la zône torride, seroit-il encore le même, si ces expériences étoient faites dans un temps où la température seroit très-abaissée au-dessous du point de la congélation ?

Cette question que se propose encore M. de Humboldt, lui paroît à peu près décidée d'après l'intensité du froid que l'on croit en général beaucoup moindre en hiver sur les grandes hauteurs, que ne paroît l'indiquer la différence de température observée en été entre les montagnes et les plaines, d'après l'opinion de Saussure, qui pensoit que si la chaleur décroît en été de 160 mètres pour un degré, son décroissement doit être en hiver de 230. Mais il ne trouvoit cette loi confirmée par aucune observation directe. Au défaut d'ascensions aérostatiques et d'excursions au sommet des montagnes, toujours très-périlleuses dans des froids rigoureux, il fait usage d'une méthode indirecte dont le principe est indiqué par

M. Laplace, dans le quatrième volume de sa Mécanique céleste. Ce grand géomètre avoit lié, le premier, dans ses formules, les réfractions de la lumière près de l'horizon, à la loi suivant laquelle diminue la chaleur des couches atmosphériques. M. de Humboldt conçoit donc l'idée heureuse de la déterminer, au moyen de deux observations de réfractions horizontales faites en Laponie par M. Swanberg, astronome suédois, dans un froid de 13 et 29 degrés centigrades au-dessous du point de la congélation.

L'application des formules de M. Laplace, faite par M. Mathieu, présente, pour l'une des observations, 243 mètres et 8 décimètres par degré du thermomètre centigrade, et 243 mètres pour l'autre; résultats curieux qui prouvent, dit M. de Humboldt, cette admirable uniformité avec laquelle la chaleur se répand dans l'atmosphère pendant deux jours dont la température diffère de 16 degrés.

A la suite de cette savante discussion préparée par de long travaux, il établit, comme vérités fondamentales, que *le décroissement de la chaleur suit la même loi sous les tropiques que sous la zône tempérée pendant l'été; qu'il varie avec la température plus ou moins élevée de la couche inférieure de l'atmosphère, et diminue d'un cinquième lorsqu'elle s'abaisse depuis 25 degrés au-dessus jusqu'à 29 degrés au-dessous du point de la congélation, que le décroissement moyen de toute l'année est fonction de la température moyenne des différentes zônes, et se ralentit par conséquent de l'équateur au pôle.*

Avant de terminer ses recherches sur cette matière, il examine la nature de la progression que suit le refroidissement des couches atmosphériques, et trouve qu'elle

n'est exactement ni arithmétique ni géométrique, que les observations d'hiver s'écartent également de l'une et de l'autre, et paroissent beaucoup mieux s'accorder avec le principe établi par l'auteur de la Mécanique Céleste, qui renferme la constitution de l'atmosphère entre les deux limites d'une densité décroissante en progression arithmétique, et d'une densité décroissante en progression géométrique; mais que pour parvenir à la connaissance complète d'une loi aussi importante, il est nécessaire de recueillir un grand nombre d'observations précises faites à des températures très-basses.

Il discute enfin les causes des erreurs de la table de Bouguer, qui présentoit les réfractions horizontales comme beaucoup moindres qu'elles ne sont en effet; il oppose au travail de cet astronome celui de Legentil, dont les observations faites à Pondichéri, n'offrent aucun indice d'une réfraction horizontale plus foible sous les tropiques qu'en Europe. Il oppose les observations de Borda et de Pingré au fort Royal de la Martinique; celles de M. Maskelyne à la Barbade, et celles qu'il a faites lui-même pendant son séjour dans les régions équinoxiales du nouveau Continent. Ces dernières, calculées par M. Oltmanns, géomètre connu parmi les savans, par différens travaux présentés à l'Institut, concourent également à prouver que la loi du décroissement de la chaleur, et les réfractions horizontales observées en été sous la zône tempérée, sont sensiblement les mêmes que dans la zône torride.

En dissipant les doutes qui pouvoient rester encore sur leur identité, M. de Humboldt rassure en quelque sorte les astronomes sur les réfractions près de l'horizon qu'il trouve plus régulières qu'on ne les croit commu-

nément; il confirme en même temps par l'observation les principes de l'une des plus belles théories que l'on ait développées jusqu'ici sur les réfractions, je veux dire celle que renferme le quatrième volume de la Mécanique Céleste.

Le travail dont je viens d'exposer les principaux résultats, mérite d'autant plus d'éloges qu'il est le fruit des plus grands sacrifices faits à l'amour des sciences. Son auteur n'a pas craint de s'y dévouer tout entier avec tous ses moyens, et d'abandonner les plaisirs des grandes cités de l'Europe, pour chercher ses jouissances, sous le soleil ardent des tropiques, dans les observations les plus pénibles des phénomènes de la nature. Cet intrépide voyageur se propose encore de nouvelles fatigues et de nouveaux sacrifices, pour étudier les petites modifications qu'éprouvent les réfractions de la lumière près de l'horizon, pour observer celles des mêmes étoiles pendant les plus grandes chaleurs de l'été et les plus grands froids de l'hiver, et comparer des observations précises faites avec des instrumens plus parfaits pendant le jour et pendant la nuit, au lever et au coucher du soleil. Il est à desirer qu'un savant aussi distingué s'occupe un jour de ces recherches intéressantes. Ses travaux dans cette partie ne pourront que lui donner un nouveau titre à la reconnaissance des astronomes.

ARTICLE IV.

PLANÈTES DÉCOUVERTES

DEPUIS LE COMMENCEMENT DU DIX-NEUVIÈME SIÈCLE.

Passons à d'autres découvertes non moins intéressantes que celles dont nous venons de parler; elles sont entièrement dues au siècle présent qui vient de s'annoncer sous les auspices les plus favorables à l'Astronomie. Déjà quatre nouveaux astres signalent ses premières années; en moins de sept ans, paroissent aux yeux des astronomes *Cérès*, *Pallas*, *Junon* et *Vesta*.

Mais, comme si la nature donnoit quelquefois aux hommes une certaine prescience des grandes découvertes comme des grands événemens, l'existence de plusieurs planètes inconnues avoit été dès long-temps annoncée parmi les savans; elle avoit été soupçonnée par les anciens philosophes (1); elle étoit inspirée au génie de Kepler, lorsqu'il trouvoit une lacune entre Mars et Jupiter, ou plutôt l'interruption des proportions harmoniques qu'il croyoit appercevoir dans les distances des planètes; et c'est précisément dans l'espace où ces proportions lui présentoient un vide à remplir, que les nouveaux astres ont été découverts.

M. Titius, professeur de Wittemberg, croyoit aussi

---

(1) Artemidore, cité par Sénèque, livre 7, chapitre 5, disoit que les cinq planètes n'étoient pas les seules, et qu'il y en avoit un grand nombre qui nous étoient inconnues. (Bailly, Astronomie, page 467.)

Kepler disoit : *inter jovem et martem interposuit novum planetam.*

reconnoître une loi dans les mêmes distances, et la trouvoit seulement défectueuse (1) entre Mars et Jupiter. suivant cette loi, la distance de Mercure étoit représentée par le nombre 4, et celle des autres planètes, en partant de Vénus, par le même nombre augmenté de 3, multiplié par les diverses puissances de 2 depuis la première jusqu'à la sixième. Lambert, M. Bode et plusieurs autres astronomes plaçoient également une planète inconnue entre Mars et Jupiter. Son existence, après avoir été pressentie long-temps avant sa découverte, fut enfin confirmée le premier jour du dix-neuvième siècle.

CÉRÈS.

M. Piazzi astronome de Palerme en Sicile, occupé d'une description du ciel, observoit la quatre-vingt-septième étoile du catalogue zodiacal de la Caille, située entre la queue du Bélier et le Taureau, lorsqu'auprès d'elle il en apperçut une de huitième grandeur qui lui paroissoit inconnue et douée d'un mouvement sensible; mais il en avoit fait à peine trois observations, dont la troisième étoit même incomplète, qu'il fut attaqué d'une maladie dangereuse qui manqua lui faire perdre avec la vie son heureuse découverte.

(1) Les distances des planètes au soleil sont entre elles à peu près comme les nombres 4, 7, 10, 15, 52, 95, 191. En suivant la loi du professeur de Wittemberg, la distance de Mercure étant exprimée par 4, celle de Vénus seroit $4+3\times2^{0}$ ou 7; celle de la terre $4+3\times2^{1}$ ou 10; celle de Mars $4+3\times2^{2}$ ou 16; celle de Jupiter $4+3\times2^{4}$ ou 52; celle de Saturne $4+3\times{}^{5}$ ou 100; celle d'Uranus $4+3\times2^{6}$ ou 196; où l'on voit qu'il se trouve une interruption de la loi entre Mars et Jupiter ou la distance représentée par $4+3\times2^{3}$ ou par 28; et cette distance est à peu près celle des nouvelles planètes relativement aux anciennes.

Lorsqu'il fut en état de reprendre ses travaux, l'astre n'étoit plus visible à la terre, il avoit disparu dans les rayons du soleil. M. Piazzi revint donc à ses premières observations, seuls guides qu'il eût alors à consulter pour procéder à sa recherche; il les trouva représentées dans une ellipse. Ses résultats, conformes à ceux de M. Burckhardt, astronome d'une habileté reconnue, le confirmèrent dans l'idée que l'astre qu'il avoit découvert étoit une planète; il lui donna même le nom de *Cérès*, pour rappeler à la postérité que la Sicile, anciennement consacrée à cette déesse, avoit été le lieu de sa découverte.

Cependant la nouvelle planète n'étoit pas encore retrouvée; elle échappoit, par sa petitesse, à tous les regards. La route *qu'elle* avoit suivie au sortir des rayons solaires, n'étoit pas celle que l'on avoit essayé de lui tracer. L'année 1801 fut employée toute entière à parcourir le ciel pour la reconnoître. Enfin, après plusieurs tentatives infructueuses, MM. de Zach et Olbers la retrouvèrent, l'un le 31 décembre et l'autre le 1er janvier 1802; c'est-à-dire un an après sa découverte. Dès-lors MM. Gauss et Burckhardt s'empressèrent de recueillir de nouvelles observations pour arriver à une détermination exacte de ses élémens (1). Maintenant renfermée dans une orbite

(1) Elémens elliptiques de la planète Cérès, d'après leur dernière détermination.

Révolution sidérale	1681 jours 539
Demi grand axe de l'orbite	2,767406
Rapport de l'excentricité au demi-axe	0,0783486
Longitude moyenne à minuit, commencement 1801	264°,45'.5"
Longitude du périhélie à la même époque	145°.39'.39"
Inclinaison de l'orbite à l'écliptique	10°.37'.34"
Longitude du nœud ascendant au commencement de 1801 ...	80°.55'.3"

sûre et corrigée de ses principales inégalités, elle ne peut plus dérober sa marche aux regards des observateurs.

Sa découverte a changé tout-à-coup les idées reçues sur la largeur du zodiaque. L'étendue de cette zône du ciel dans laquelle sont observés les mouvemens des planètes, avoit toujours été comprise dans une largeur d'environ 16 degrés. C'étoit celle du zodiaque consacré par l'ancienne Astronomie. Cérès en a franchi les bornes et porté sa largeur jusqu'à 37 degrés (1).

Elle a détruit encore les rangs établis entre les différens corps du système planétaire. La nature paroissoit avoir mis les plus grands sous l'empire immédiat du soleil et sous la puissance de ces derniers, d'autres astres plus petits forcés de les suivre dans leur cours. Aujourd'hui cette espèce d'hiérarchie a cessé. Cérès est un des plus petits corps du système planétaire. Son diamètre apparent réduit à la moyenne distance de la terre au soleil, n'est pas même d'une seconde, suivant M. Herschel (2); ce qui suppose son diamètre réel environ dix-sept fois moindre que celui de la terre, ou cinq fois plus petit que celui de la lune, et cependant elle n'est pas au rang des astres secondaires, ou forcée de suivre un cercle étroit autour d'une planète. Elle suit majestueusement dans le ciel une longue route tracée pour elle au-delà des orbes de la terre et de Mars.

---

(1) L'inclinaison apparente de l'orbite de Cérès varie depuis environ onze degrés jusqu'à 18 et demi.

(2) D'après de nouvelles mesures, MM. Schroeter et Harding ne donnent pas à Cérès un diamètre moindre de 2″; et quand elle en auroit trois, elle seroit encore beaucoup plus petite que la lune, dont le diamètre réduit est à peu près de 5 secondes.

La

La découverte de Cérès peut être regardée comme un effet du hasard; mais elle est aussi le fruit honorable du travail, la récompense méritée des soins apportés par M. Piazzi à la formation de son Catalogue d'étoiles (1); la petitesse de l'astre la rendoit difficile, elle n'en est devenue que plus glorieuse pour son auteur, surtout par les conséquences importantes qui l'ont suivie. Cérès a fixé l'attention des astronomes, et c'est en cherchant la route qui lui est tracée dans le ciel, qu'ils ont découvert d'autres planètes qui leur étoient également inconnues.

PALLAS.

La seconde année du dix-neuvième siècle en a vu paroître encore une nouvelle dont la découverte est due à M. Olbers, docteur en médecine à Bremen, avantageusement connu dans l'Astronomie par un traité sur les comètes. Le 28 mars 1802, il parcouroit, avec le dessein de déterminer la position de Cérès, toutes les étoiles de la Vierge. Arrivé non loin de la vingtième, près de laquelle il avoit observé la planète deux mois auparavant, il vit une étoile de septième grandeur qu'il n'avait pas encore apperçue dans sa première observation; il soupçonna qu'elle n'étoit point ce qu'elle paroissoit, l'examina plus attentivement, la vit changer de place dans l'intervalle même de deux heures, et dans

(1) M. Piazzi ne plaçoit aucune étoile sur son catalogue qu'après l'avoir observée pendant plusieurs nuits consécutives; c'est à ces observations répétées qu'il a dû la découverte de Cérès.

les deux nuits suivantes, il s'assura de la quantité de son mouvement, qu'il trouva de 10 minutes par jour.

Si l'astronome regarde la rencontre d'une comète dans le ciel, comme un bienfait de la fortune, de quel œil doit-il voir l'avantage plus grand d'enrichir le monde d'une nouvelle planète? Le titre de sa gloire et son nom sont tracés d'une manière durable sur l'astre qu'il découvre.

M. Olbers ne tarda pas à jouir de la douce satisfaction que donne une belle découverte. Il ne conçut dès son origine aucun doute sur la nature de sa planète; qui lui paroissoit mieux terminée que Cérès, et ne lui présentoit aucune ressemblance avec les comètes. Il avoit appris d'ailleurs par les astres de MM. Herschel et Piazzi, que les planètes anciennes ne sont pas seules dans notre système. Sa jouissance ne fut donc point, comme l'avoit été celle de ces deux observateurs, altérée ni retardée par l'incertitude.

Ainsi, dès les premiers jours de sa découverte, il crut pouvoir l'annoncer aux astronomes. En France, M. Burckhardt fut instruit le premier de l'existence du nouvel astre; il s'en assura par ses propres observations et se fit un devoir de les adresser aussitôt à l'Institut national de France.

Bientôt après il s'occupa, ainsi que M. Gauss, du calcul de son orbite; ils ne trouvèrent l'un et l'autre que l'ellipse qui fût propre à satisfaire aux premières observations; mais ils trouvèrent son inclinaison plus extraordinaire encore que celle de Cérès. Un astre qui dans sa révolution devoit embrasser du nord au midi une zône d'environ 70 degrés, s'écartoit trop du cours ordinaire des planètes pour ne pas laisser quelques momens de doute

sur le rang qui lui devoit être assigné; mais étant, comme Cérès, placée entre Mars et Jupiter, et n'étant point sujet à disparoître dans les profondeurs du ciel, il fut mis au nombre des planètes, et reçut, de l'auteur même de la découverte, le nom de *Pallas*.

L'effet de son inclinaison jointe à la grandeur de son excentricité plus forte même que celle de Mercure, est de l'entraîner à de plus grandes perturbations et de les rendre en même temps plus difficiles à calculer. M. Burckhardt s'est livré avec soin à ces pénibles calculs, et c'est d'après une approximation poussée aussi loin que peuvent le permettre les moyens actuels de l'analyse, qu'il a déterminé les élémens (1) de la planète.

Ces moyens sont insuffisans pour elle, malgré les nouveaux développemens donnés par cet habile astronome aux formules connues; il paroît même difficile d'assigner de quel ordre doivent être les dimensions des produits qu'il pourroit être permis de négliger.

C'est d'après ces considérations que la Classe des sciences physiques et mathématiques de l'Institut Impérial a proposé pour sujet d'un prix déjà remis plu-

---

(1) Elémens elliptiques de Pallas.

	Jours.
Révolution sidérale	1681,709
Demi-grand axe de l'orbite	2,767592
Rapport de l'excentricité au demi-grand axe	0,245384
Longitude moyenne à minuit au commencement de 1801	252°37'2"
Longitude du périhélie à la même époque	121°14'1"
Inclinaison de l'orbite à l'écliptique	34°37'8"
Longitude du nœud ascendant au commencement de 1801	172°32'36"

sieurs fois, de *donner la théorie des perturbations de la planète Pallas*. La Classe demande la discussion complète de tous les points de cette théorie, de manière à n'omettre aucune inégalité sensible, et regarde surtout comme un des avantages les plus importans de la solution de ce problème, la connaissance des formules analytiques dans lesquelles on puisse substituer successivement les valeurs plus exactes de la distance moyenne, de l'excentricité, du périhélie et de l'inclinaison, à mesure que ces élémens se perfectionnent.

La question proposée présente le cas particulier de Pallas tournant autour du soleil, et troublée dans sa marche par Jupiter. Il s'agit de calculer les effets de l'action qui l'empêche de décrire rigoureusement la route elliptique qui lui est tracée, ou de trouver la nature de la courbe compliquée qu'elle décrit réellement. Cette question est donc le problème des trois corps renouvelé, dont l'Institut demande une solution plus complète.

Pour la donner avec toute l'exactitude prescrite, il faudra peut-être reculer les bornes de l'analyse, franchir les limites où se sont arrêtés Euler, Clairaut, Dalembert, MM. Lagrange et Laplace. Quels sont les dignes rivaux qui doivent les suivre, et s'élancer au-delà des routes nouvelles qu'ils ont tracées? La renommée les placera bientôt comme eux au premier rang, et les nouveaux progrès que leur devra la Géométrie pourront être regardés comme un des plus grands bienfaits de la découverte de Pallas.

Cette planète est encore, comme Cérès, comparable par sa grandeur aux plus petits satellites: si l'on en croit M. Herschel, son diamètre réduit à la distance moyenne

de la terre au soleil, n'est que de 0,″ 32. Il est, suivant M. Schroeter, de 4″, 5. L'opinion des astronomes n'est pas encore fixée sur les mesures données par ces deux célèbres observateurs; des quantités aussi petites échappent aux regards du plus grand nombre.

JUNON.

A la découverte des planètes de MM Piazzi et Olbers a bientôt succédé celle d'une troisième faite par M. Harding. Cet astronome, digne collaborateur de M. Schroeter, avoit entrepris les cartes de la zône céleste que parcourent Cérès et Pallas. Il établissoit pour elles un nouveau zodiaque qui devoit être rempli d'étoiles inconnues dans l'ancien, depuis la première jusqu'à la neuvième et dixième grandeur.

Le premier septembre 1804, en comparant son nouvel Atlas avec le ciel, il découvrit entre deux étoiles, l'une du Catalogue de Mayer, et l'autre de l'Histoire céleste françoise, une étoile qu'il n'avoit pas encore vue à cette place. Le 4 septembre, il ne l'y trouva plus; mais à peu de distance il en vit une autre qu'il n'avoit pas apperçue trois jours auparavant. Il commença par soupçonner qu'elle étoit la même que la première, que son mouvement l'avoit fait appercevoir à deux places différentes. Son soupçon se changea dès le lendemain en certitude, et comme l'astre inconnu ne présentoit ni queue ni nébulosité, il le regarda comme une planète, opinion qui fut bientôt confirmée par les observations de MM. de Zach, Olbers, Gauss et Bode, par celle des astronomes français, et par les calculs de ses élé-

mens (1) faits séparément par MM. Gauss et Burckhardt.

La nouvelle planète reçut de M. Harding lui-même, le nom de *Junon*, et pour caractère symbolique un sceptre surmonté d'une étoile.

Un savant qui s'intéressa toujours vivement à la gloire des hommes dévoués aux travaux de l'Astronomie, Lalande, a souvent manifesté le desir de voir les astres nouveaux désignés sous les noms des auteurs de leurs découvertes; mais quelque grande que soit pour nous l'autorité de cet astronome célèbre, il nous paroît plus convenable que des dieux ou des déesses, plutôt que des hommes, figurent dans le ciel parmi les dieux anciens. La fable se prête plus facilement aux allégories les plus ingénieuses. Les trois nouvelles planètes ont été représentées dans un ouvrage de M. Schroeter, sous les figures des trois déesses, Cérès, Pallas et Junon, qui se tiennent par la main et paroissent, avec leurs attributs, portées ensemble sur les mêmes nuages ou sur la même route céleste. C'est d'après cette idée agréable, que n'auroient point présentée les noms des observateurs qui les ont découvertes, que peut être exprimée allégoriquement l'égalité remarquable de leurs distances au soleil, et celle de leurs révolutions. Quoique les noms de Piazzi, d'Olbers et d'Harding n'aient pas été particulièrement affectés aux

(1) Élémens elliptiques du Junon.

	Jours
Révolution sidérale	1590,998
Demi-grand axe de l'orbite	2,667163
Rapport de l'excentricité au demi-grand axe	0,254944
Longitude moyenne à minuit au commencement de 1801	296°30'52"
Longitude du périhélie à la même époque	53°18'41"
Inclinaison de l'orbite à l'écliptique	13° 3'28"
Longitude du nœud ascendant au commencement de 1801	171° 6'58"

trois nouvelles planètes, ces noms seront-ils moins honorablement désignés à la reconnoissance de la postérité?

VESTA.

Il ne nous reste plus maintenant à parler que de la quatrième planète découverte depuis le commencement de ce siècle. Les trois premières n'ont été directement l'objet d'aucune recherche; la découverte de Cérès est due à la formation du Catalogue d'étoiles de M. Piazzi; celle de Pallas, aux recherches faites dans le ciel pour retrouver Cérès, et celle de Junon à la description entreprise du zodiaque des deux premières planètes; la quatrième est la seule dont la découverte ait été faite d'après un dessein formé de la trouver, dessein cependant qui n'étoit appuyé que sur une idée extraordinaire, susceptible d'être combattue, mais trop heureuse dans ses résultats pour encourir la défaveur des astronomes. L'idée et la conséquence appartiennent à M. Olbers.

Cet observateur, pour expliquer les phénomènes de la petitesse des nouvelles planètes et de l'égalité de leurs distances au soleil, a pensé qu'elles pouvoient être des fragmens d'une planète plus considérable qu'une cause extraordinaire avoit brisée en différens morceaux, que ses diverses parties ont continué de se mouvoir autour du soleil, à la même distance et avec des vîtesses égales, que leurs orbites différemment inclinées, devoient avoir dans deux régions opposées du ciel, deux points communs d'intersection. Il pensoit que si l'on vouloit découvrir les fragmens épars de la planète; c'étoit à ces deux passages qu'il falloit les attendre. D'après l'observation des routes qu'avoient suivies Cérès et Pallas, d'après le calcul de leurs orbites,

il trouvoit que l'un devoit être placé vers la constellation de la Vierge, et l'autre vers celle de la Baleine.

La découverte de Pallas dans la première, celle de Junon dans la seconde, sembloient appuyer l'hypothèse ingénieuse de M. Olbers, et l'affermirent dans la résolution de chercher quelque nouvelle planète; résolution soutenue encore par les connaissances qu'il avoit acquises sur les deux régions du ciel dont nous venons de parler; il prit donc le parti de passer en revue, trois fois par an, toutes les petites étoiles qui composent les deux constellations opposées de la Vierge et de la Baleine. La fortune favorisa son projet : le 29 mars 1807, il découvrit dans l'aile boréale de la Vierge, une étoile inconnue que son mouvement bien constaté d'un jour à l'autre mit aussitôt au rang des planètes. Elle lui parut d'une lumière blanche et pure, environnée d'une atmosphère moins épaisse que celles de Cérès, Pallas et Junon.

Bientôt elle devint l'objet des recherches des principaux astronomes de l'Europe. Elle fut observée à Paris, par M. Bouvard à l'Observatoire impérial, et par M. Burckhardt à celui de l'ancienne Ecole Militaire; à Greenwich, par MM. Maskelyne et Groombridge; à Milan, par M. Oriani; à Gottingue, par M. Harding.

A la suite de ces diverses observations, MM. Gauss et Burckhardt ont à plusieurs reprises caculé ses élémens (1).

---

(1) Elémens elliptiques de Vesta.

	Jours.
Révolution sidérale	1335,205
Demi-grand axe de l'orbite	2,373000
Rapport de l'excentricité au demi-grand axe	0,093220
Longitude moyenne à minuit, au commencement de 1801	267°25'1"
Longitude du périhélie à la même époque	249°43'0"
Inclinaison de l'orbite à l'écliptique	7°8'46"
Longitude du nœud ascendant au commencement de 1801	103°1'0"

M.

M. Gauss ayant comparé l'une de ses orbites avec vingt-deux observations de M. Bouvard, n'a pas trouvé 17″ d'erreur en ascension droite ; il en a trouvé moins encore en déclinaison. Cet astronome aspiroit à une plus grande précision; il croyoit pouvoir la fonder sur des observations antérieures à la découverte de la planète ; il espéroit que sa grande lumière l'avait fait observer autrefois comme une étoile fixe, ainsi qu'il était arrivé pour Uranus; mais ses espérances n'ont pas été remplies. Cependant on peut s'en rapporter avec confiance aux calculs des deux astronomes qui se sont disputés en même temps la gloire de tracer les orbites des quatre nouvelles planètes.

Il résulte des valeurs peu différentes qu'ils ont assignées à *leurs élémens*, que la dernière est d'environ douze millions de lieues moins éloignée du soleil que Cérès, Pallas et Junon, que son inclinaison n'est pas beaucoup plus grande que celle de Mercure, et que son excentricité est à peu près égale à celle de Mars; on peut en conclure qu'elle est moins exposée aux dérangemens causés par Jupiter, et que ceux qu'elle éprouve sont aussi plus faciles à calculer.

Les recherches de M. Olbers dans les constellations de la Vierge et de la Baleine ont été suivies d'un heureux succès; cependant les points d'intersection des orbites de Cérès et de Pallas, de Cérès et de sa nouvelle planète, n'ont pas précisément la coïncidence qu'il avoit présumée ; ils sont séparés par une distance angulaire d'environ 20°; ceux des orbites de quelques autres petites planètes encore inconnues, peuvent l'être par des distances encore plus considérables. Il est donc à desirer que les regards des astronomes qui voudroient s'occuper

du soin de les chercher, ne se bornent pas strictement aux deux régions du ciel indiquées par M. Olbers; les phénomènes célestes se présentent d'ailleurs sous tant de formes différentes, qu'il importe de ne pas se prescrire des limites trop étroites pour les découvrir.

Le nom et le caractère symbolique de la nouvelle planète sont dus à M. Gauss, qui l'a nommée *Vesta*, et caractérisée par un autel sur lequel brûle le feu sacré.

Les quatre planètes dont nous venons de parler, offrent un spectacle singulier dans le système du monde. Différentes de toutes les autres, elles ont entre elles de grandes ressemblances et paroissent associées par la nature aux mêmes destinées. Elles remplissent ensemble la lacune que l'on croyoit trouver entre Mars et Jupiter. Placées dans une distance moyenne entre ces deux planètes, elles décrivent des orbites peu différentes par leur étendue et se meuvent à peu près d'un pas égal, en s'écartant plus ou moins du zodiaque. Elles se ressemblent aussi par leur extrême petitesse.

Quelques savans, qui ne voyoient en elles que des apparences de petites étoiles, proposaient de les comprendre dans une classe particulière sous le nom d'*astéroïdes*; mais l'opinion générale des astronomes les a mises au rang des planètes qui se distinguent des autres astres, non par leur volume, mais par les orbites presque circulaires qu'elles décrivent autour du soleil.

Article V.

Nouvelles Comètes.

Des astres différens des planètes sont aussi devenus l'objet constant des recherches des astronomes, ce sont les comètes auxquelles ont été consacrées des veilles nombreuses depuis 1781. Trente-une ont été découvertes depuis cette époque, et nous sommes maintenant arrivés à la quatre-vingt-dix-septième dont l'orbite soit connue ; cette dernière est regardée comme une des plus belles qui aient paru depuis près d'un demi-siècle.

Les astronomes qui, dans l'intervalle des trente années qui viennent de s'écouler, ont principalement enrichi le système solaire de ces nouveaux astres, sont, en France, MM. Messier, Bouvard, Méchain et Pons ; en Allemagne, M. Olbers ; en Angleterre, MM. Herschel, Pigot et mademoiselle Caroline Herschel. Leurs orbites ont été calculées par plusieurs des observateurs précédens, tels que MM. Bouvard, Méchain et Olbers ; on peut ajouter à ces noms ceux de MM. de Zach, Saron, Englefield, Prospérin et Burckhardt.

L'objet le plus intéressant que l'on puisse se proposer dans les observations des comètes, est le calcul de leurs orbites ; il imprime un caractère aux comètes observées, et donne les moyens de les reconnaître aux époques de leurs nouvelles apparitions. C'est sans doute au desir de prévoir leurs retours, que nous devons les efforts qu'ont faits jusqu'ici les géomètres les plus célèbres pour résoudre le problème général de leurs élémens. Il n'est peut-être aucune question que l'on ait agitée de tant de

manières différentes. Comme elle offroit toujours de nouveaux écueils, on a cherché sans cesse de nouveaux moyens de les éviter, et l'on s'est trouvé presque toujours réduit à l'alternative d'une extrême longueur dans les calculs, ou d'une simplification fondée sur de fausses hypothèses.

Aux méthodes anciennes dont la plupart sont depuis long-temps abandonnées, ont succédé depuis 1780, trois méthodes nouvelles qui paraissent aujourd'hui partager l'attention des astronomes. La première, de M. Laplace, éprouvée avec succès sur un grand nombre de comètes, est employée par ceux qui préfèrent la sûreté des méthodes analytiques aux résultats incertains des solutions graphiques. La seconde, de M. Olbers, remarquable par l'union des formes analytiques aux principes de la trigonométrie, est favorablement accueillie de ceux qui tiennent encore aux anciennes méthodes astronomiques : elle présente les avantages d'une grande simplicité ; mais elle est regardée comme insuffisante dans le cas où l'orbite de la comète est peu inclinée à l'écliptique. La troisième, de M. Legendre, est recommandable par le nom de son auteur. Elle est analytique comme celle de M. Laplace. Le mérite qui lui est propre est d'indiquer à chaque instant les effets des erreurs introduites dans les hypothèses ou dans les observations, et de donner des moyens faciles de les concilier avec le résultat définitif, sans obliger le calculateur de revenir sur ses pas, mérite qui peut compenser en grande partie la longueur inévitable des calculs dont elle ne paroît pas exempte aux yeux des géomètres.

La précision des orbites des comètes ne dépend pas seulement des méthodes plus ou moins directes, plus ou

moins approximatives; elle dépend encore de leurs observations toujours très-incertaines, à cause des atmosphères nébuleuses dont elles sont environnées; c'est peut-être pour cette raison que nous n'en connaissons qu'une seule dont le retour puisse être annoncé avec certitude.

Mais le temps développera sans doute cette partie presque encore neuve de l'astronomie. Il ramènera vers leur périhélie les comètes déjà observées, et rectifiera leurs élémens; et s'il est vrai que quelques-uns de ces astres soient errans de système en système, l'avenir reconnoîtra du moins, ceux qui doivent rester invariablement attachés à l'empire du soleil. Il en fixera le nombre, s'il est possible qu'il soit jamais déterminé.

Voilà le *précis* des découvertes faites par l'*observation* depuis 1781. Par elle en trente ans le système solaire s'est enrichi de cinq planètes, de huit satellites et de trente-une comètes; elle a découvert la rotation de Saturne et de son anneau, reconnu celle de Mercure et de Vénus, et les variations périodiques de quelques étoiles. Elle a parcouru la surface inégale de la lune, déterminé les hauteurs de ses montagnes, les profondeurs de ses cratères, recherché la densité de son atmosphère. Jamais peut-être dans un intervalle de temps aussi court, elle n'avoit été aussi féconde. Ses efforts ont été si grands, que dans beaucoup de parties elle laisse peu de choses à desirer pour l'avenir.

Il est vrai qu'elle a trouvé de grands secours dans la nouvelle perfection des instrumens, dans la puissance amplificative des grands télescopes, dans les nouveaux Observatoires rivaux de ceux de Paris et de Greenwick,

élevés à Seerberg, à Lilienthal, à Palerme, et rendus célèbres par les travaux de MM. de Zach, Schroeter et Piazzi.

Cependant tout n'est pas connu dans le ciel. Si les arts chimiques peuvent donner une plus grande perfection aux verres achromatiques (1), si l'art de l'opticien peut les disposer d'une manière plus avantageuse, il est possible que de nouveaux phénomènes soient découverts.

Les expériences faites jusqu'ici sur le flint-glass, tant en France qu'en Angleterre, n'ont pas encore rempli les vœux des astronomes. Des prix (2) ont été proposés par l'Académie des Sciences de Paris et par le Bureau des longitudes de Londres; mais les frais que nécessitent les expériences de cette nature, ont toujours été au-dessus des récompenses promises. Les essais dans ce genre demandent la munificence et les encouragemens d'un grand souverain. Cet objet seroit digne peut-être de fixer un moment les regards de l'auguste fondateur des prix décennaux. Il appartient à ce monarque généreux, dont les idées sont aussi grandes que le courage, d'illustrer les prodiges de son règne, de tous ceux que peuvent enfanter les sciences, les lettres et les arts.

(1) Les essais faits par M. *Dartigues*, dans sa manufacture établie près de Dinant, peuvent donner en France de grandes espérances aux astronomes. Plusieurs lunettes astronomiques de 6 p. de foyer et de 45 lignes d'ouverture, construites par *Cauchois* avec le flint-glass fabriqué sous la direction de M. *Dartigues*, ont été éprouvées à l'Observatoire Impérial, et ne paroissent pas inférieures aux lunettes anglaises de même dimension.

(2) En 1786 l'Académie des Sciences de Paris a proposé, pour le flint-glass, un prix de douze mille livres. Avant ce temps, un prix de mille livres sterling avoit été déjà proposé pour le même objet par le bureau des Longitudes de Londres.

L'Astronomie, la plus belle des sciences humaines, ne sera pas sans doute la dernière à se ressentir des dons de sa main puissante et libérale. Le héros qui l'a favorisée (1) au milieu des calamités de la guerre, lui présentera sans doute son appui dans le sein de la paix. Protégée par lui, elle prendra tout l'essor qu'il est permis à l'esprit humain de lui donner, et portera jusqu'aux cieux le nom de son bienfaiteur.

ARTICLE VI.

Tentatives faites par l'observation sur divers phénomènes célestes.

En terminant l'histoire des découvertes faites par l'observation, nous devons dire un mot de ses tentatives sur différens objets, dont la connoissance paroît jusqu'ici se refuser à nos recherches. L'observation ne nous a point encore appris quelle est la nature du soleil et celle des comètes. Elle n'a point encore mesuré la distance des étoiles, déterminé le mouvement du système solaire et sa direction. Voyons ce qu'elle a fait depuis trente ans pour nous dévoiler ces phénomènes et jusqu'à quel point on peut espérer de découvrir ce qu'ils ont de caché.

---

(1) Lorsque l'Empereur étoit général en chef de l'armée d'Italie, il a donné des témoignages marqués de sa bienveillance aux astronômes célèbres Oriani et Cagnoli. Il a fait augmenter les fonds de la Société italienne, dont ce dernier étoit président. Il a fait don à l'observatoire de Milan, dont il a toujours encouragé les travaux, d'une riche pendule d'Arnold, habile horloger anglois. *Bibliographie astronomiq, pag.* 792 *et* 793.

TACHES ET NATURE DU SOLEIL.

L'objet le plus digne d'attirer les regards d'un grand observateur est sans doute l'astre qui l'éclaire, celui sans lequel tous les autres cesseroient pour lui d'exister. C'est dans le dessein d'en connoître la nature, que M. Herschel a souvent dirigé ses télescopes vers le ciel. Les observations suivies de ses taches l'ont conduit sur sa constitution physique à quelques hypothèses que nous croyons devoir exposer ici, surtout à cause de l'intérêt que leur donne le nom de leur auteur.

Les taches du soleil, par leur retour périodique, ont fait connoître sa rotation; elles ont aussi donné lieu sur leur nature à différens systèmes. Quelques observateurs les ont regardées comme des éruptions de volcans, d'autres, comme des écumes ou comme des masses flottantes sur un océan de feu. Aucun de ces deux systèmes ne paroît s'accorder avec les dernières observations de M. Herschel.

En 1776, cet astronome a découvert sur le soleil une tache assez grande pour être apperçue à la vue simple. L'ayant observée avec un très-fort télescope de sept pieds, elle lui a paru divisée en deux parties, dont la plus grande avoit un diamètre apparent d'environ une minute huit secondes ou dix mille lieues d'étendue. Sa largeur totale lui paroissoit être au moins de treize mille lieues, c'est-à-dire, près de cinq fois le diamètre de la terre. Cette tache occupoit un trop grand espace pour être l'effet d'une éruption volcanique.

Dans les années 1783, 1791 et 1792, M. Herschel a vu différentes taches abaissées au-dessous de la surface apparente

parente du soleil. Ces taches n'étoient point à ses yeux des masses flottantes, mais des portions de son noyau solide apperçues à travers son atmosphère entr'ouverte par une grande agitation.

Suivant cet observateur, la surface du soleil est très-inégale; elle est parsemée de profondes cavités et d'éminences considérables. Il place au-dessus de sa masse solide une atmosphère très-élevée, composée de fluides élastiques, dont les uns sont lumineux et les autres transparens. Il compare la formation du fluide lumineux dans l'atmosphère solaire, à la formation des nuages dans l'atmosphère terrestre. Il voit dans l'une et l'autre deux immenses laboratoires où s'opèrent des décompositions différentes, analogues à l'action chimique des diverses substances qu'ils renferment; il estime que la hauteur de l'espace où se forment les nuages lumineux dans l'atmosphère solaire, n'est ni beaucoup moindre que six cents lieues, ni de beaucoup supérieure à neuf cents.

En considérant ainsi l'atmosphère du soleil, et toutes les ressemblances que lui donnent avec les planètes sa solidité, ses éminences, ses profondes cavités, sa rotation et la pesanteur des corps à sa surface, M. Herschel regarde cet astre comme une immense et brillante planète, qui seule mérite le nom de *primaire*, et n'hésite pas à le croire habité.

Ce corps si volumineux ne doit pas être seulement considéré, suivant cet astronome, comme un centre d'attraction destiné à retenir les planètes dans leurs orbites, mais encore comme une demeure propre à contenir d'innombrables générations d'êtres vivans. M. Herschel étend cette idée à tous les astres qui lui

ressemblent, et voit de toutes parts dans l'univers une nature animée et féconde.

Il ne dissimule point la grande objection que l'on peut faire relativement à la chaleur qui, suivant les impressions reçues sur la terre, doit, à la surface du soleil, excéder tout ce qu'on peut imaginer.

A cette objection fondée sur nos propres sensations, M. Herschel répond que les rayons solaires ne portent point la chaleur avec eux, que celle qu'ils excitent dépend uniquement des corps sur lesquels ils tombent. Mais ces rayons qui peuvent fondre les metaux (1) à 34 millions de lieues de leur origine, sont-ils donc sans énergie sur le corps brillant dont ils émanent, et peut-on penser que les matières qui sont à sa surface ne soient pas d'une nature propre à recevoir fortement les impressions qu'ils peuvent produire ?

Est-ce donc pour donner au soleil une destination plus importante, que nous le supposerions habité ? cette considération puisée dans la doctrine des causes finales, en est-elle une application juste, une conséquence nécessaire ? l'astre qui tient dans sa dépendance tous les corps de notre système, n'a-t-il pas reçu la plus belle des attributions, celle de répandre la lumière et la vie sur les mondes planétaires qui composent son empire ? pouvons-nous d'ailleurs pénétrer dans les desseins de la nature ? pouvons-nous lui supposer des vues, à moins qu'elles ne soient évidemment

---

(1) L'expérience démontre que les rayons du soleil rassemblés par le moyen des miroirs et des verres ardens, peuvent fondre les métaux et brûler les corps combustibles à de grandes distances. *Voyez les Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1747, *et le Dictionnaire Encyclopédique*, *au mot* ARDENT.

conformes à ses lois? D'après ce que nous éprouvons sur la terre, le soleil nous présente toutes les apparences d'un corps enflammé qui lance sans cesse autour de lui des torrens de lumière et de feu. Quelle organisation d'êtres vivans pouvons-nous concevoir au milieu de cet incendie perpétuel?

NATURE DES COMÈTES.

Si la nature du soleil nous est inconnue, nous ne sommes pas mieux instruits sur celle des comètes. Ces astres, dont l'apparition passagère est presque toujours un événement remarquable dans le ciel, ont-ils un noyau solide, ou leur centre n'est-il que la partie la plus dense et la plus compacte de leur nébulosité?

D'après leurs observations sur les comètes de 1799 et de 1807, MM. Schroeter et Herschel les regardent comme des corps solides d'une forme ronde et bien distincts des nébulosités qui les accompagnent. M. Schroeter a remarqué que le noyau n'était pas sujet aux mêmes variations que les vapeurs environnantes, qu'il n'en occupait pas toujours le milieu, qu'il étoit près du bord le plus voisin du soleil, et que ce bord étoit moins dense que le bord opposé.

Outre la solidité, M. Herschel attribue encore aux comètes une lumière naturelle. D'après ses observations sur la comète de 1807, il a calculé que, dans sa position relativement à la terre, son disque visible pour nous ne devoit pas être entièrement éclipsé par le soleil, et cependant il lui paroissoit dans toute sa surface briller d'une lumière égale, beaucoup plus rapprochée par sa vivacité de la rayonnance des étoiles, que de la lumière réfléchie des planètes et des satellites.

2.

Mais cet éclat ne pourroit-il pas indiquer dans le centre de la comète, aussi bien un amas de vapeurs condensées qui réfléchissent de toutes parts les rayons solaires dont elles sont pénétrées, qu'un noyau solide brillant par sa nature ? L'une et l'autre hypothèse expliqueroient également le défaut de ses phases : quelle est donc celle qui doit être préférée ?

M. Herschel pense aussi que les chevelures et les queues des comètes sont lumineuses par elles-mêmes. Il en donne pour preuve une observation de la comète de 1807, qui laissoit encore appercevoir quelque trace de sa queue près de disparoître, quoique sa distance à la terre fût déjà d'environ 87 millions de lieues. Il lui paroît impossible qu'une lumière réfléchie par des vapeurs légères, puisse être apperçue à une pareille distance.

Si les queues des comètes sont lumineuses par elles-mêmes, quelle est donc la matière qui les compose ? Est-elle, comme le pensoit Mairan, l'atmosphère même du soleil, ou cette matière est-elle susceptible d'être enflammée par ses rayons ? On ne peut guère former sur cet objet que des conjectures plus ou moins ingénieuses. Ce qui paroît le plus vraisemblable, c'est que les queues des comètes sont les émanations les plus subtiles de leurs atmosphères raréfiées par la chaleur ; qu'elles n'ont, comme les astres dont elles dépendent, qu'une lumière empruntée, qui peut être assez brillante pour les laisser appercevoir à de très-grandes distances de la terre.

PARALLAXE DES FIXES,

OU DISTANCE DES ÉTOILES.

Des observations multipliées conduiront peut-être un jour, sur la nature du soleil et celle des comètes, à des résultats plus certains ; mais il ne paroît pas que nous puissions concevoir la même espérance sur la distance des étoiles. Que peuvent nos instrumens de quelques pieds de rayon pour mesurer des distances regardées comme infinies, puisqu'une base de 69 millions de lieues est insuffisante pour établir un rapport avec elles.

Cependant M. Calandrelli a fait à Rome, avec un secteur de neuf pieds, diverses observations sur la parallaxe de la Lyre qu'il élève à 4″,7 en déclinaison ; il en résulteroit que la distance à la terre ne seroit que de 1600 billions de lieues, au lieu de 7 mille billions. Suivant M. Piazzi, la parallaxe de la Lyre n'est que d'environ 2″ ; de sorte qu'étant à peine égale aux erreurs inévitables des observations, elle doit être regardée comme très-incertaine.

Méchain et M. Delambre ont observé plusieurs fois l'étoile Polaire et l'étoile β de la petite Ourse qui doivent avoir la plus grande parallaxe en déclinaison ; ils n'ont rien trouvé dans la comparaison de leurs distances au zénith qui pût la leur rendre sensible.

Sans pouvoir déterminer avec quelque justesse la parallaxe des fixes, il est possible que, par de nouvelles tentatives, on parvienne un jour à mieux connaître la limite au-delà de laquelle elle ne peut atteindre, et par conséquent la moindre distance que l'on puisse supposer aux étoiles. Les parallaxes d'ascension droite étant en géné-

ral plus variables que celles de déclinaison, M. Delambre pense qu'elles peuvent être employées avec plus d'avantages (1). Il cite particulièrement la Lyre dont la parallaxe de déclinaison est à celle d'ascension droite dans le rapport de 35 à 51; la première étant, d'après les observations de M. Calandrelli, de 4″,7, la seconde seroit de 6″,85, et la double parallaxe de 13″,7, laquelle vaudroit en temps 0″,9, quantité dont l'ascension droite de la Lyre serait sujette à varier dans l'espace de six mois, de sorte qu'en comparant la Lyre à plusieurs étoiles voisines, mais assez petites (2) pour être présumées beaucoup plus éloignées de la terre, et n'avoir aucune parallaxe sensible, la distance de la Lyre à ces étoiles changeroit en temps de, 0″,9, quantité qui paroît à M. Delambre susceptible d'être vérifiée, et d'autant plus aisément que la Lyre est très-souvent observée par les astronomes.

Si quelque espérance de mesurer la distance des étoiles est encore conservée, le moyen proposé par M. Delambre ne sera pas sans doute négligé. Déjà par ce moyen, M. Lindenau successeur de M. de Zach à l'Observatoire de Saxe-Gotha, croit avoir reconnu une parallaxe de 4 secondes au moins à deux étoiles de Cassiopée. Il est à desirer que l'on observe pour le même objet un très-grand nombre d'étoiles et même les moins brillantes; il est pos-

---

(1) *Connaissance des temps pour* 1808, *pag.* 433.

(2) On peut objecter que la différence de grandeur n'établit pas la différence de distance, que les étoiles les plus petites peuvent n'être pas plus éloignées de la terre. M. Delambre répond que cette objection perdroit beaucoup de sa force, si l'on employoit aux comparaisons qui seroient faites un certain nombre d'étoiles. (*Connaissance des temps pour* 1808, *pag.* 433)

sible que par quelque heureux hasard la constance des observateurs soit un jour récompensé.

MOUVEMENT

DU SYSTÈME SOLAIRE.

A la parallaxe des fixes se lie en quelque sorte le mouvement du système solaire, qui dans ces derniers temps n'a pas moins attiré l'attention des astronomes, et ne s'est pas manifesté à leurs yeux d'une manière plus sensible. Cependant le déplacement du soleil et des astres qu'il enveloppe dans sa sphère d'activité, ne leur paroît plus être aujourd'hui le sujet du moindre doute; ils ne pensent pas que sa masse énorme puisse se mouvoir sur elle-même et laisser son centre dans une immobilité absolue. mais quelle est la direction de son mouvement? vers quelles étoiles est-il emporté? comment juger au milieu de l'espace infini où nous sommes placés, de quel côté leurs distances augmentent ou diminuent? à peine quelques foibles changemens de position pourroient être apperçus après plusieurs siècles d'observations, quand même on supposeroit au système solaire, un déplacement annuel de plusieurs millions de lieues. Pourroit-on jamais les reconnoître, si les différens systèmes sont, comme les différens corps du système solaire, dans un état d'oscillation perpétuelle, de manière que les distances de leurs centres soient toujours à peu près avec nos mesures dans le même rapport? Un rapprochement de mille millions de lieues vers les étoiles d'une constellation, ne rendroit pas leur parallaxe plus sensible, s'il est vrai que leurs moindres distances à la terre soient de sept mille billions

de lieues. Ce rapprochement ne seroit qu'un sept millième de leurs distances actuelles; pourroit-il mettre dans leurs parallaxes une différence plus grande que les erreurs qui peuvent être attribuées aux observations ?

Malgré les difficultés qui se présentent sur le mouvement du système solaire (1), cette question a déjà été examinée plusieurs fois, et vient de l'être de nouveau par M. Herschel (2). Cet astronome célèbre pense que les mouvemens apparens observés dans quelques étoiles, sont produits par le mouvement réel du soleil, et que d'après les observations faites sur ces apparences, le mouvement de notre système est dirigé vers la constellation d'Hercule : pour arriver à ce résultat, M. Herschel a besoin de supposer que les étoiles les plus brillantes sont les plus proches de la terre ; que celles qui paroissent indiquer le déplacement du soleil sont elles-mêmes dans une immobilité absolue, hypothèses qui ne peuvent être garanties. La lumière des étoiles ne dépend pas seulement de leurs distances, mais de leurs grandeurs respectives; Jupiter, ainsi que l'observe à ce sujet M. Delambre, est toujours plus brillant que Mars, quoiqu'il soit souvent quinze fois plus éloigné de la terre. Il est difficile aussi de concevoir le mouvement au milieu du repos, le déplacement de notre système et l'immobilité des systèmes environnans. Si tous se meuvent et circulent, comme on peut encore le supposer, autour d'un centre universel de gravité, leurs positions respectives seront toujours à peu près les mêmes, et l'on n'aura ja-

(1) *Philos. trans.* 1783. *Mém. de Berlin* 1781.

(2) *Philos. trans.* 1805. *Conn. des Temps pour* 1809.

mais

mais sur les changemens qu'ils pourront éprouver, que des résultats incertains et discordans.

Ce que l'on peut, après tout, avancer avec confiance, c'est que le mouvément du système solaire est très-probable, mais que nous n'avons pas encore un nombre suffisant de faits ou d'observations, pour démontrer sa réalité et prononcer sur sa direction. C'est une conséquence qui résulte de l'application faite de deux formules analytiques (1) de M. Delambre aux mouvemens observés de quelques étoiles. C'est par elles que les astronomes des âges futurs pourront mettre leurs observations à l'épreuve, et de l'accord de leurs résultats conclure le mouvement du système solaire et sa direction.

Malgré l'inutilité des tentatives faites pour connoître les phénomènes qui nous sont cachés, nous n'en devons pas moins un tribut d'éloges au zèle courageux des hommes qui s'occupent des moyens de les découvrir; si les connaissances qu'ils poursuivent, doivent leur échapper, d'autres plus importantes auxquelles ils ne pensent point, peuvent se rencontrer sur leur route et les dédommager de leurs pénibles recherches. N'oublions pas que les questions même regardées comme insolubles, ont été souvent la cause des plus belles découvertes, que celles de l'aberration et de la nutation sont dues aux efforts du célèbre Bradley pour découvrir la parallaxe annuelle des étoiles, que la recherche de la quadrature du cercle na pas été in utile aux progrès de la Géométrie, celle de la transmutation des métaux à la Chimie,

(1) *Voyez les deux formules et leur démonstration dans la Connaissance des Temps de l'année* 1809, *pag.* 379 *et suiv.*

et le mouvement perpétuel à la mécanique. L'esprit humain, dans son inquiète curiosité, est avide de tout connoître; il cherche à pénétrer dans les plus profonds secrets de la nature; la nature met des bornes à ses prétentions indiscrètes; mais pour prix de sa constance, elle laisse par intervalle arriver jusqu'à lui quelques vérités utiles.

HISTOIRE
DE L'ASTRONOMIE,

DEUXIÈME PARTIE.

DÉCOUVERTES
FAITES PAR LA THÉORIE.

Ces mondes qui se meuvent sur nos têtes avec tant de régularité, sont-ils assujettis dans leurs mouvemens à des lois immuables, ou ces lois doivent-elles insensiblement s'altérer et les détruire ? La nature a-t-elle mis en eux des principes de permanence ou des germes de destruction ?

C'est un être fragile qui n'a qu'une existence éphémère sur l'une des moindres planètes du système solaire, c'est l'homme qui demande à l'Univers s'il doit être éternel; l'Univers auquel il ose mesurer son intelligence, lui répond, que les mondes ne présentent aucun signe de décadence ni de vétusté; qu'un principe conservateur, dépendant de leur action mutuelle, assure leur stabilité; qu'ils n'éprouvent dans leurs élémens aucune altération réelle ou constamment croissante; que les corps célestes ne doivent point s'accélérer jusqu'à se réunir un jour aux foyers des forces qui les animent; que les accé-

lérations doivent se changer tour-à-tour en retardemens, et les retardemens en accélérations ; que si les orbites varient dans leurs inclinaisons, elles ne parviendront jamais à se confondre ; que jamais aucune génération ne verra la coïncidence de l'écliptique et de l'équateur, ou l'égalité constante des jours et des nuits sur toute la terre ; que dans le ciel tout est périodique ; que le même ordre de choses doit toujours s'y reproduire, et le système du monde se balancer dans cet état d'oscillation perpétuelle.

Ce sont ces belles conséquences du principe de Newton que nous verrons se développer à chaque pas dans les théories des deux grands géomètres que les sciences se glorifient encore de posséder, MM. Lagrange et Laplace. Nous y verrons que l'action lente et continue des planètes, après avoir diminué l'angle d'inclinaison de l'écliptique à l'équateur terrestre jusqu'à un certain degré, doit le ramener à sa première grandeur ; que les moyennes distances des planètes au soleil, et leurs moyens mouvemens sont invariables ; que par la raison seule que les planètes se meuvent toutes dans le même sens, dans des orbites presque circulaires et peu inclinées les unes aux autres, les variations de leurs inclinaisons et de leurs excentricités sont renfermées dans d'étroites limites ; nous y verrons même, que certains phénomènes qui paroissoient s'affranchir des lois de la pesanteur, en sont devenus les preuves les plus frappantes ; qu'ils ont fait connaître les lois de la nature dans ses plus grands écarts, et dans l'Univers, les signes évidens d'une éternelle durée.

Les plus belles découvertes faites depuis quarante ans par la Théorie, ont conduit les géomètres à ces impor-

tans résultats. Ces découvertes ont été d'abord consignées dans différens Mémoires des Sociétés savantes, ensuite fondues et réunies dans un grand ouvrage, qui devoit contenir sous un même point de vue toute la théorie de l'Astronomie; et comme elles appartiennent principalement à l'histoire de la période que nous parcourons, nous les exposerons à peu près dans l'ordre suivant lequel elles se sont présentées. Nous ferons voir la manière dont la gravitation universelle a rendu compte, depuis 1781, de plusieurs phénomènes qu'elle n'avoit pas encore expliqués, et nous essaierons ensuite de donner une idée de l'ouvrage célèbre qui couronne la longue série des découvertes faites par la Géométrie dans le siècle dernier.

SECTION PREMIÈRE.

PRINCIPAUX PHÉNOMÈNES

EXPLIQUÉS PAR LA GRAVITATION UNIVERSELLE DEPUIS 1781.

Des progrès étonnans avoient été faits depuis Newton dans la connaissance des mouvemens célestes ; un seul principe paroissoit dévoiler la nature ; déjà même il étoit reconnu dans le plus grand nombre des phénomènes : cependant quelques exceptions importantes se présentoient encore à l'époque de 1781. Quelques mouvemens lunaires, les variations lentes des orbites, certaines inégalités des deux plus grands corps planétaires, les lois du mouvement des satellites de Jupiter, les principes conservateurs des anneaux de Saturne paroissoient encore couverts d'un voile impénétrable. Euler, Clairaut et d'Alembert avoient laissé plusieurs théories imparfaites et de grandes difficultés à résoudre. MM. Lagrange et Laplace ont achevé leur ouvrage, et la gravitation universelle est restée, sans partage, souveraine absolue de l'Univers, dont elle maintient l'ordre et l'existence. Parcourons successivement les derniers phénomènes qu'elle est parvenue à ranger sous sa loi.

ARTICLE PREMIER.

Libration de la Lune.

Si cette Astronomie qui s'élève jusqu'à la connoissance des causes, fut créée par Newton, c'est à ses successeurs

qu'elle doit ses plus beaux développemens. Ils ont été ses auxiliaires, je dirai même ses égaux, en attachant au grand principe de la gravitation universelle tous les phénomènes observés.

Parmi ceux dont ils ont déterminé les lois avec le plus d'efforts et de succès, on peut compter la libration de la lune, ou ce balancement périodique autour de son centre, qui nous dérobe et nous découvre alternativement vers ses bords quelques portions de sa surface.

Galilée est le premier qui l'ait reconnu ; comme les Anciens, il avoit observé que l'hémisphère de la lune, tourné vers la terre, est constamment le même ; mais ce qu'il avoit observé de plus, ce sont les diverses apparences que présentent ses extrémités, ces taches successivement dérobées à nos regards, et ramenées vers nous par une espèce d'oscillation du rayon vecteur qui joint le centre de la lune à celui de la terre. Il paroît n'avoir connu que la libration en latitude, c'est-à-dire celle qui s'opère perpendiculairement à l'écliptique, nous cache successivement et fait reparoître à nos yeux les régions situées vers les pôles de rotation du globe lunaire.

Hévélius découvrit ensuite dans le sens de la longitude ou de la route que parcourt la lune dans son orbite, une autre espèce de libration, qui lui montroit aussi successivement, tantôt vers le bord oriental, tantôt vers le bord occidental, des régions auparavant invisibles.

Après Hévélius, Dominique Cassini donna sur le phénomène de la libration de nouvelles lumières, qui sont encore aujourd'hui les plus beaux titres de sa gloire. Il développa les causes astronomiques des apparences qu'elle produit ; il expliqua comment la lune, en tournant sur

elle-même, pouvoit nous présenter toujours le même hémisphère; comment l'inclinaison de l'équateur et de l'orbite lunaire à l'écliptique pouvoit rendre alternativement visible chaque pôle pendant une moitié de la révolution de la lune et le cacher pendant l'autre moitié; comment enfin les inégalités de sa marche dans son orbite, combinées avec l'uniformité de son mouvement sur son axe, pouvoient nous découvrir ou nous cacher, tantôt ses extrémités orientales, tantôt ses extrémités occidentales (1).

Pour rendre raison de toutes ces apparences, il supposa que la lune tourne sur son axe dans le même temps qu'elle achève sa révolution autour de la terre; que le plan de l'écliptique, ceux de l'équateur et de l'orbite de la lune ont une intersection commune; et trouva, d'après les observations assidues de ses taches; que le premier, situé entre les deux autres, forme avec le second un angle de 2° ½, et avec le troisième, un angle de 5°; et que les points où l'équateur de la lune coupe l'écliptique, ont la même position et le même mouvement que les nœuds de son orbite.

Vers le milieu du siècle passé, Tobie Mayer, célèbre astronome de Gottingue, entreprit de constater ces résultats par de nouvelles observations; il recommença le grand travail de Dominique Cassini sur un nouveau plan et d'après de nouvelles méthodes.

Les élémens principaux que Tobie Mayer regarda comme nécessaires à la recherche du mouvement de rotation de la lune, sont la longitude et la latitude sélénographiques des taches. Il introduisit, ces deux élé-

(1) Voyez les Mémoires de l'Académie des Sciences de l'année 1721.

mens

mens dans une formule générale qui renfermoit comme quantités inconnues, l'inclinaison de l'équateur lunaire sur l'écliptique, la déclinaison de la tache, et la différence de la longitude des nœuds de l'équateur et de l'orbite, et d'après 27 équations de condition, déduites de sa formule générale et d'un nombre égal d'observations de la tache *Manilius*, il trouva, pour l'inclinaison de l'équateur lunaire sur l'écliptique, 1° 30′, pour la déclinaison de la tache, 14° 33′ et pour la différence des nœuds, environ 3° $\frac{1}{2}$, différence qui peut être regardée comme absolument nulle, si l'on considère que la détermination de cette quantité dépend de l'inclinaison de l'équateur lunaire, et qu'une erreur très-possible de 5′ sur cette inclinaison peut, suivant Mayer (1), en produire une de 20 à 25 degrés sur la différence des nœuds.

M. Bouvard vient de confirmer, 60 ans après Tobie Mayer, les résultats de cet astronome, ou plutôt il vient de leur donner une nouvelle précision. En suivant la même marche, en faisant usage des mêmes formules qu'il a rendues rigoureuses, il a trouvé, d'après la discussion de 67 observations faites à l'Observatoire Impérial en 1809, pour l'inclinaison de l'équateur lunaire sur l'écliptique, 1°32′, pour la déclinaison de la tache, 14°50′, et pour la différence des nœuds, 1°56′; cette différence encore moindre, prouve encore avec plus d'évidence l'égalité de leurs moyens mouvemens.

Voilà l'ouvrage de l'observation, la théorie astronomique de la libration, tant apparente que réelle du sphéroïde lunaire. L'observateur les confond, le géomètre les sépare; il fait plus, il cherche la cause phy-

(1) Mémoires cosmographiques de la Société de Nuremberg, 1750, p. 148.

sique du phénomène ; il constate et rectifie les lois connues, aspire même à la gloire d'en découvrir de nouvelles.

Newton est le premier qui se soit occupé de la libration de la lune dans ses rapports avec la pesanteur universelle; mais il n'a fait que les indiquer. La première application du calcul analytique à ce phénomène a été faite par Dalembert en 1754. Après lui, M. Lagrange en a donné la théorie complète qu'il a développée, tant dans sa pièce couronnée par l'Académie des Sciences de Paris en 1764, que dans son Mémoire présenté à l'Académie de Berlin en 1780.

Cet illustre géomètre a cherché d'abord pourquoi la lune nous présente toujours la même face ; il en a trouvé la raison dans la pesanteur terrestre, qui ne permet pas au grand axe de ce satellite dirigé vers la terre, de s'en écarter au-delà d'un certain terme, et d'après la supposition faite qu'à l'origine ses mouvemens angulaires de rotation et de révolution ont été peu différens, il est arrivé, par une analyse fondée sur le système de la gravitation, à l'égalité constante que l'on observe dans les deux mouvemens du sphéroïde lunaire.

Une question plus difficile, et qui devoit exercer longtemps toutes les forces de la Géométrie, s'est présentée ensuite à ses recherches, c'est celle de la coïncidence des nœuds de l'équateur et de l'orbite lunaire. D'Alembert qui s'étoit déjà occupé de la même question, avoit d'abord appliqué à la lune les formules qu'il avoit trouvées pour la terre, dans sa solution générale du problème de la précession des équinoxes, et n'avoit obtenu que des résultats peu conformes aux observations. M. Lagrange fit voir que la circonstance de l'égalité des mou-

vemens de rotation et de révolution de la lune, empêchoit que les formules relatives au mouvement de l'axe de la terre ne fussent applicables à celui de l'axe lunaire, et donna les véritables équations qui devoient représenter ce mouvement.

D'Alembert reprit encore la même question en 1768, et se rapprocha beaucoup des résultats de M. Lagrange; mais les solutions des deux géomètres n'étoient pas encore tout-à-fait satisfaisantes du côté de l'analyse; tous deux avoient supposé que les équations différentielles des mouvemens de l'axe lunaire pouvoient être regardées comme des équations différentielles du premier ordre. Cette supposition avoit même conduit M. Lagrange à des formules dans lesquelles le mouvement des nœuds de l'orbite de la lune n'avoit aucun rapport avec celui des nœuds de son équateur, et lorsqu'il supposait l'égalité de ces deux mouvemens, il trouvait que l'axe lunaire devoit s'approcher insensiblement du plan de l'écliptique, résultat contraire aux observations.

Ces essais multipliés de deux grands géomètres, qui laissoient toujours beaucoup à desirer, cette fluctuation de la question au milieu des contradictions et des incertitudes, ne servoient qu'à prouver les difficultés dont elle étoit embarrassée. Cest à M. Lagrange qu'il étoit réservé de les vaincre et d'écarter tous les nuages qui couvroient encore le mouvement des nœuds de l'équateur lunaire.

Quinze ans après il reprit la même question avec un nouveau courage et de nouvelles forces, et pour la résoudre, il examina tous les phénomènes dans lesquels elle étoit enveloppée, tant ceux qui sont relatifs aux

mouvemens de la lune sur elle-même, que ceux qui regardent sa translation autour de la terre.

Dans sa pièce couronnée en 1764, M. Lagrange n'avoit abordé la question qu'en faisant faire un pas de plus à la mécanique. C'est dans cette circonstance qu'il réduisit en formule, au moyen du principe des vîtesses virtuelles de Jean Bernoulli, celui de D'Alembert, qui ramène les lois du mouvement à celles de l'équilibre, combinaison ingénieuse qui réduit la solution de tous les problèmes de Dynamique à des opérations d'analyse.

Il se livra, d'après cette méthode, à la recherche des formules nécessaires pour déterminer le mouvement d'un corps de figure quelconque, attiré par des forces quelconques, en fit l'application au mouvement de la lune, attirée par la terre et par le soleil, et parvint à le représenter par six équations différentielles, dont trois donnent le mouvement du centre de gravité de la lune autour de la terre, et les trois autres, son mouvement de rotation autour de ce centre.

En considérant la lune comme un sphéroïde elliptique homogène, et supposant qu'elle ait été primitivement fluide, il détermina les véritables dimensions de sa figure, trouva qu'elle devoit être élevée sous son équateur, mais que l'excès de cette élévation devoit être quatre fois plus grand dans le sens de l'axe dirigé vers la terre, que dans le sens de l'axe perpendiculaire à celui-ci dans le plan de l'équateur.

Il s'occupa ensuite des mouvemens de la lune autour de son centre, c'est-à-dire de sa rotation autour d'un axe fixe, et des mouvemens de cet axe par rapport au plan de l'écliptique. D'après les inégalités de sa rotation produites par sa non-sphéricité, il parvint à l'expression gé-

nérale de sa libration réelle et physique, entièrement dégagée de sa libration apparente. Intégrant enfin les deux équations différentielles qui renferment la loi des mouvemens de l'axe lunaire, il vit sortir de cette intégration quatre constantes arbitraires, et trouva qu'en les supposant nulles, les nœuds de l'équateur lunaire doivent coïncider exactement avec les nœuds moyens de l'orbite de la lune. Il est vraisemblable qu'elles ne sont pas nulles; mais tout indique qu'elles ont des valeurs fort petites; dans cette hypothèse la coïncidence des nœuds de l'équateur et de l'orbite lunaire varie plus ou moins, mais toujours de manière que les moyens mouvemens des nœuds de l'équateur soient exactement égaux aux moyens mouvemens des nœuds de l'orbite. Ce dernier phénomène éprouve donc encore, comme celui de l'égalité, des moyens mouvemens de rotation et de révolution, une espèce de libration, état qui se découvre de plus en plus, à mesure que l'on pénètre plus avant dans la connoissance du système du monde. « Quand la nature, dit M. Laplace (1), assujettit » les moyens mouvemens célestes à des conditions dé- » terminées, ils sont toujours accompagnés d'oscillations » dont l'étendue est arbitraire. »

Quant à l'inclinaison de l'équateur lunaire sur l'écliptique, M. Lagrange a trouvé que ses petites variations périodiques devoient suivre celles qu'éprouve la coïncidence des nœuds de l'équateur et de l'orbite lunaire, et qu'elle n'est constante qu'en supposant cette coïncidence parfaite. Il a fait usage de l'inclinaison moyenne de l'équateur lunaire, à peu près connue par les observations,

---

(1) Exposition du Système du Monde, 3e édition, livre 4, chap. 15.

pour déterminer une des constantes arbitraires qui dépendent de la figure de la lune. C'est par elle qu'il devoit représenter l'alongement de l'axe dirigé vers la terre. Il a renfermé les limites de cet alongement entre les cinq et sept dix-millièmes du demi-diamètre lunaire, résultat remarquable dans sa Théorie, l'une de celles qui doit dans tous les temps faire le plus d'honneur au génie analytique de ce grand géomètre.

Telle est la manière dont M. Lagrange a rendu compte, par la pesanteur terrestre, du phénomène de la coïncidence des nœuds de l'équateur et de l'orbite lunaire. Ce n'est point par des efforts ordinaires, en marchant dans des sentiers battus, qu'il a trouvé la solution de ce problème, mais par des efforts répétés, en luttant contre des obstacles dont il n'a pu triompher qu'en donnant une nouvelle forme à la mécanique, et simplifiant les méthodes de l'analyse. Ainsi, lorsque les questions que nous avons à résoudre présentent des difficultés qui paraissent insurmontables, il est quelquefois nécessaire, pour les vaincre, d'ébranler les fondemens mêmes de nos connoissances, d'en reculer les bornes, ou de les établir sur de nouvelles bases; mais ces révolutions dans les sciences, sont difficiles, et ne sont réservées qu'aux hommes doués d'une grande supériorité.

Passons maintenant aux recherches de M. Lagrange sur les variations séculaires des planètes, et voyons encore par quels nœuds elles sont liées au principe de la gravitation universelle.

---

(1) Les limites de la quantité qui représente l'alongement de la lune vers la terre sont plus exactement les fractions 0,0005149 et 0,0006746, le demi-diamètre de la lune étant pris pour unité.

Mémoires de l'Académie de Berlin, 1784, *pag.* 212.

ARTICLE II.

Variations séculaires des élémens des Planètes.

Les planètes troublées par leur action mutuelle dans la route elliptique qui leur fut tracée par Kepler, manifestent aux yeux des observateurs, des inégalités de deux espèces; les unes, qui ne parcourent que des périodes très-courtes, les autres, qui ne se développent qu'avec les siècles. Les premières dépendantes de la configuration des planètes entre elles et renfermées, pour ainsi dire, dans les bornes de notre existence, sont connues sous le nom de *variations périodiques*. Elles ne laissent appercevoir que des traces passagères qui n'altèrent point l'orbite primitive de la planète. Sa première position rétablie à l'égard des autres, rétablit tout pour elle dans l'ordre accoutumé. Les secondes qui paroissent n'avoir, à raison de l'extrême longueur de leur période, aucun terme dans leur durée ou leur développement, prennent le nom de *séculaires*. Elles laissent à leur suite l'empreinte des siècles qu'elles embrassent, dans les altérations que subissent les dimensions des orbites planétaires, et même leur position dans l'espace.

L'observation a d'abord reconnu ces deux espèces d'inégalités; la théorie a fait voir ensuite qu'elles pouvaient être expliquées par la gravitation universelle. Les inégalités périodiques, comme les plus sensibles, en ont été déduites les premières. Les inégalités séculaires, beaucoup plus difficiles à calculer à cause de la lenteur de leur accroissement, ont été déterminées plus tard, d'après le même principe. Elles ne pouvoient l'être com-

plètement sans les plus grands efforts de l'analyse dont elles attendoient les derniers perfectionnemens.

Le célèbre Euler avoit déjà fait quelques tentatives sur le calcul des inégalités des moyens mouvemens de Jupiter et de Saturne. Il n'en avoit d'abord découvert aucune qui lui parût être de la nature de celles que l'on nomme *Séculaires*, et lorsqu'il en trouva une de ce genre, elle ne s'accordoit point avec les observations; elle étoit égale et de même signe pour les deux planètes, quoique le mouvement de l'une parût s'accélérer, et celui de l'autre se ralentir de siècle en siècle. Il fut plus heureux dans ses recherches sur les inégalités des nœuds, des périhélies, des excentricités et des inclinaisons, dont il a le premier donné les expressions différentielles.

M. Lagrange avoit fait aussi des recherches sur les inégalités des mêmes élémens, et sur les altérations des moyens mouvemens. Il avait même déjà donné, dans différens Mémoires des Académies de Turin et de Berlin, des méthodes générales pour déterminer ces sortes d'inégalités; mais la matière lui paroissoit trop importante pour ne pas la traiter d'une manière directe et rigoureuse, et ne pas embrasser dans un examen approfondi, le système entier des variations séculaires des élémens des planètes. Il envisageoit à la fois dans leur théorie complète, les avantages de l'astronome et du géomètre, pour l'un, la perfection des tables, et pour l'autre, celle de l'analyse; mais il avoit à lutter contre de grandes difficultés pour calculer les petites variations du mouvement des planètes, qui cesse continuellement d'être elliptique, et qui cependant peut être regardé comme tel à chaque instant. C'est en considérant leur mouvement sous ce point de vue, que lui devenoit essentiellement nécessaire la théorie

théorie générale de l'*osculation* qu'il avoit déjà développée dans les Mémoires de l'Académie de Berlin.

Pour arriver à la connoissance des variations séculaires des élémens des planètes, il cherche d'abord à représenter dans ses formules différentielles, l'effet total de toutes les forces perturbatrices, qu'il réduit à trois, dirigées suivant les trois axes rectangulaires qui peuvent déterminer à chaque instant la position de la planète dans l'espace, et dont il suppose l'origine au centre de la force principale. Il développe ensuite ces formules et les débarrasse de tout ce qu'elles renferment de périodique, en rejetant tous les termes qui contiennent des sinus et cosinus d'angles proportionnels au temps. En suivant cette marche, il trouve que les quantités dans lesquelles sont enveloppées les expressions de la distance moyenne et des moyens mouvemens, ne contiennent que des sinus ou cosinus d'angles de cette nature. Il en conclut que ces deux élémens ne peuvent éprouver aucune variation séculaire, ou ne peuvent être altérés par l'action réciproque des planètes. Ce résultat, par ses rapports avec l'invariabilité de la longueur de l'année sidérale, et la stabilité du système planétaire, est un des plus importans que l'on ait découverts dans la Physique céleste.

Cependant l'accélération apparente du moyen mouvement de Jupiter, et le ralentissement de celui de Saturne semblaient encore obscurcir de quelques nuages la vérité de ce grand principe. La théorie qui ne laissoit à M. Lagrange aucun doute sur son évidence, lui donnoit le droit de conclure que les variations observées dans les moyens mouvemens des deux planètes de Jupiter et de Saturne, ou devoient être attribuées à d'autres causes qu'à leur action mutuelle, ou ne devoient être

admises que lorsqu'elles seroient suffisamment constatées par une longue suite d'observations ; mais M. Laplace a bientôt après dissipé toute espèce d'obscurité sur ce point. Il a su concilier un principe, qu'il avoit lui-même reconnu le premier, avec les variations apparentes des moyens mouvemens de Jupiter et de Saturne, et démontré qu'elles ne sont dues qu'à leur attraction mutuelle. C'est ainsi que deux des plus illustres successeurs de Newton, plutôt émules que rivaux, inspirés vers le même temps par le génie de la Géométrie, affermissoient le monde sur les bases inébranlables de la gravitation universelle.

Si les grands axes et les moyens mouvemens sont invariables, dans les autres élémens tout varie, plans des orbites, forme des ellipses, excentricités, mouvemens des nœuds et des périhélies. M. Lagrange procède à la recherche de ces variations, par différentes méthodes plus ou moins faciles, plus ou moins directes. Il passe, pour arriver aux diverses formules qui peuvent servir à les déterminer, à travers toutes les difficultés de l'analyse, et se dégage de ses entraves en la perfectionnant.

Les limites étroites dans lesquelles sont renfermées les excentricités et les inclinaisons des orbites des six planètes principales de notre système, lui permettent d'en négliger les carrés et les produits de plusieurs dimensions; elles contribuent même à rendre complète la solution du problème. Il profite aussi des simplifications dont la rend susceptible la petitesse des masses de toutes les planètes, relativement à celle du soleil, et de la petitesse des masses des unes à l'égard des autres. Si la masse de Jupiter est environ mille fois moindre que celle du soleil, les masses des autres planètes beaucoup plus petites, sont des quan-

tités beaucoup au-dessous d'un millième; la terre elle-même n'en est pas la trois-cent millième partie. M. Lagrange a donc cru pouvoir négliger dans les équations différentielles les termes où les quantités qui représentent les masses des planètes, s'élèvent au-dessus de la première dimension.

L'homme superficiel devant qui seront prononcés les noms de nos plus grands géomètres, demandera peut-être quel est le but de leurs plus belles théories. Peut-être il pensera que, guidés seulement par une vaine curiosité, ils n'ont fait que consumer leur pénible existence sur d'arides calculs et d'inutiles travaux; mais le hardi navigateur, jeté par la tempête sur des plages inconnues, pourra lui répondre, que, c'est à ces mêmes travaux qu'il doit le plus souvent sa sûreté; l'intrépide voyageur qui s'égare dans des terres inhabitées, l'habile géographe qui détermine avec tant de précision les différens points du globe terrestre, lui diront qu'ils n'ont souvent d'autres guides que le ciel et les tables astronomiques dont la perfection est due à la Géométrie.

Jusqu'à ce que les observations comparées d'une longue suite de siècles, laissent appercevoir les lentes variations des orbites planétaires, c'est à la Géométrie seule qu'il appartient de les déterminer et de les faire entrer dans la construction des tables, de manière à leur donner une exactitude qui puisse s'étendre à des temps très-éloignés. Ainsi, pour rendre son ouvrage utile à l'Astronomie, M. Lagrange ne s'est pas contenté de donner les formules générales des variations séculaires; il en a fait encore une application détaillée à chacune des planètes principales.

Dans cette application, la connaissance de leurs masses

et de leurs distances moyennes au soleil, dont les expressions sont renfermées dans ses équations différentielles, devient la base fondamentale de ses calculs. Il regarde aussi les excentricités, les inclinaisons, les lieux des périhélies et des nœuds pour une époque donnée, comme des élémens nécessaires, mais seulement après l'intégration, pour déterminer les constantes arbitraires. Il emprunte des tables de Halley les principaux élémens dont il est ici question, et discute avec beaucoup d'étendue les rapports des masses, ou forces attractives des planètes à celle du soleil. Il distingue les masses des planètes accompagnées de satellites, et les masses de celles qui n'en ont point. Il détermine les premières d'après la relation des forces attractives considérées comme étant en raison directe des distances moyennes, et inverse des carrés des temps périodiques, relation (1) démontrée par Newton pour les corps qui décrivent des ellipses invariables, et par M. Lagrange, en ayant égard aux variations séculaires des orbites. Il conclut les secondes, à l'exemple d'Euler, de leurs volumes combinés avec leurs densités, en supposant d'après la loi que suivent à peu près la terre,

(1) D'après la relation démontrée par Newton et par M. Lagrange, en désignant par S la masse du soleil, par P celle d'une planète, par r sa distance moyenne au soleil, et par t son temps périodique; en désignant de plus par ρ la distance d'un satellite à la planète, et par θ son temps périodique, on aura...

$$S = \frac{r^3}{t^2} \qquad P = \frac{\rho^3}{\theta^2}$$

donc $\frac{P}{S}$ ou simplement $P = \left(\frac{\rho}{r}\right)^3 \left(\frac{t}{\theta}\right)^2$, la masse du soleil étant prise pour unité; formule très-simple pour déterminer les masses des planètes accompagnées de satellites.

Mémoires de l'Académie de Berlin, 1782, pag. 179.

Jupiter et Saturne, les densités réciproquement proportionnelles aux distances. Il ne dissimule point l'incertitude que laisse une base aussi précaire sur les masses des planètes sans satellites. Il détermine cependant, en conséquence des masses qu'il a trouvées pour les six planètes principales, les valeurs numériques de tous les coëfficiens des diverses équations différentielles, qui doivent servir à calculer les variations séculaires des excentricités, des inclinaisons, des nœuds et des périhélies, et laisse aux astronomes le soin de chercher, par une application semblable à celle dont il donne l'exemple, de nouveaux coëfficiens numériques, lorsque le temps aura produit quelques changemens dans les valeurs des masses des planètes. Dans ces diverses déterminations, il ne tient aucun compte de l'action d'Uranus dont les élémens n'étoient pas encore assez bien constatés à l'époque de ses recherches sur les variations séculaires des orbites des planètes.

M. Lagrange ne se borne pas à ces travaux préparatoires pour la construction des tables; il examine encore les équations qu'il a présentées sous leur forme différentielle, et pense que, dans cet état, elles peuvent servir à déterminer les petites variations annuelles des élémens des six planètes principales, que l'on peut regarder, pendant un très-grand nombre d'années, comme proportionnelles au temps. D'après cette hypothèse, il détermine leurs valeurs pour le commencement du 18e siècle, valeurs qui, multipliées par 100, peuvent donner les variations séculaires. En les comparant aux observations faites depuis le renouvellement de l'Astronomie, il entrevoit le moyen de fixer en quelque sorte l'incertitude qui reste encore sur les masses des planètes, et qui

ne peut l'être, en effet, que par la connoissance exacte des variations séculaires que le temps doit développer dans les mouvemens célestes.

Il compare ensuite les valeurs des variations annuelles déduites de la théorie, avec celles que donnent les observations. Cette comparaison lui présente, dans leurs résultats, des différences assez considérables sur les mouvemens des périhélies de Mercure, de Vénus, de Jupiter et de Saturne. Il trouve un plus grand accord entre la théorie et les observations sur les mouvemens du périhélie de Mars, du périgée du soleil, et la diminution de l'obliquité de l'écliptique. Les résultats de la théorie sont toujours hors d'atteinte toutes les fois que les données qui leur servent de base sont exactes; mais à l'époque de 1781, les masses des planètes étoient bien moins connues qu'aujourd'hui; la cause et la loi des grandes inégalités de Jupiter et de Saturne, découvertes peu de temps après par M. Laplace, étoient encore ignorées, et ces inégalités ne sont pas sans influence sur les mouvemens des périhélies des deux planètes.

La détermination des variations annuelles des élémens des planètes paroissoit devoir suffire aux besoins de l'Astronomie dans son état actuel; mais le géomètre ne renferme pas ses calculs dans les bornes de quelques siècles. En considérant la marche des phénomènes, il cherche à les connoître pour un temps quelconque; il cherche à déterminer les périodes et les lois de leurs variations; et comme il se propose souvent de devancer les observations ou de leur suppléer, il a besoin d'embrasser l'avenir tout entier dans ses théories. C'est par des considérations aussi élevées, qu'il découvre dans le système du Monde ses lois les plus générales, et surprend

quelquefois les secrets de la nature. C'est dans cet esprit que M. Lagrange se propose de trouver les expressions générales et complètes des variations séculaires des élémens des six planètes principales pour un temps indéfini; recherche qui lui demande l'intégration des équations différentielles linéaires qui renferment la loi de ces variations, forme sous laquelle il a le premier présenté les équations relatives aux nœuds et aux inclinaisons, et que M. Laplace a donnée ensuite à celles qui se rapportent aux excentricités et aux périhélies.

Après quelques considérations générales sur la forme des intégrales, il calcule séparément l'effet de l'action mutuelle de Jupiter et de Saturne, comme s'ils formoient un système à part, indépendant de celui des autres planètes, et trouve que les variations des excentricités et des inclinaisons de leurs orbites, ne consistent que dans de petites oscillations autour de leurs valeurs moyennes, et qu'abstraction faite de toute cause étrangère, ce système est de lui-même dans un état stable et permanent; ce que M. Laplace avoit déjà démontré en général dans le cas où l'on ne considère que deux planètes.

Il examine aussi séparément les variations séculaires de Mars, de la Terre, de Vénus et de Mercure, qui par l'intervalle qui les sépare de Jupiter et de Saturne, paroissent aussi former un système indépendant dans le système planétaire; mais ce système plus composé, demande un plus long travail et renferme des difficultés particulières dans les équations qu'il faut résoudre, et qui se compliquent en raison du nombre des planètes que l'on considère. M. Lagrange aplanit toutes ces difficultés avec la supériorité qui caractérise le grand géomètre, et trouve qu'en vertu de leur action mutuelle,

les excentricités et les inclinaisons des quatre planètes de ce dernier système doivent demeurer éternellement renfermées dans d'étroites limites ; que l'obliquité de l'écliptique ne peut différer de l'obliquité actuelle que d'une quantité moindre que 5°23′ (1); que les variations de la longueur de l'année tropique ne peuvent excéder 3′40″ ; ce qui détruit les systèmes également faux des hommes qui prétendent que l'écliptique doit dans la suite des siècles coïncider avec l'équateur, et donner à la terre un printemps perpétuel, et de ceux qui pensent qu'elle s'approche sans cessé et par des degrés insensibles, du foyer de notre système, et doit un jour s'y précipiter.

Ainsi la permanence du système planétaire repose à la fois sur deux grandes bases, l'invariabilité des distances moyennes et des moyens mouvemens, et les limites données par la nature aux excentricités et aux inclinaisons des orbites. Ce sont là ces résultats intéressans qu'il n'est permis qu'au géomètre de découvrir ; lui seul peut pénétrer ainsi dans la constitution intime de l'Univers, par l'étonnante faculté qui lui est donnée de comprendre dans ses formules l'immensité des siècles.

L'invariabilité des grands axes et des moyens mouvemens est une de ces vérités que le temps paroît affermir et généraliser de plus en plus. M. Laplace l'avoit d'abord reconnue, en remarquant que tous les termes qui peuvent produire une inégalité séculaire, se détruisent dans l'expression du moyen mouvement. Si l'on

(1) On verra ci-après que M. Laplace réduit l'étendue entière des variations de l'obliquité de l'écliptique à 3° décimaux ou 2° 42′ de la division sexagénale.

néglige

néglige les quatrièmes puissances des excentricités et des inclinaisons des orbites, et les carrés des masses perturbatrices. M. Lagrange a fait voir ensuite, d'une manière directe, que les grands axes ne peuvent jamais contenir aucun terme proportionnel au temps, quelque loin que l'on pousse l'approximation par rapport aux excentricités et aux inclinaisons des orbites; mais il s'arrêtoit encore à la première puissance des masses des planètes.

M. Poisson, jeune géomètre, qui dès son entrée dans la carrière des sciences paroît appelé à suivre les pas de MM. Lagrange et Laplace, vient d'ajouter à l'invariabilité des grands axes, un nouveau développement. Il a démontré que les grands axes et les moyens mouvemens doivent être regardés comme invariables, même en ayant égard aux carrés des masses perturbatrices. Il est vrai que l'approximation portée jusqu'aux premières puissances des masses étoit suffisante pour les grands axes et les autres élémens; mais pour avoir une approximation équivalente par rapport aux moyens mouvemens, il étoit nécessaire d'avoir égard aux carrés des masses.

Pour arriver à la démonstration de son théorème, M. Poisson a substitué, dans l'expression différentielle du moyen mouvement donné par M. Lagrange (1), les variations des élémens de la planète troublée que ce géomètre avoit regardés comme constans. Il a fait voir dans la forme qu'il a su lui donner, que les termes non périodiques dépendans des carrés des masses, doivent se détruire pour toutes les puissances des excentricités et des inclinaisons, et par le moyen de l'équation générale des forces vives, telle qu'elle est présentée par Monsieur

(1) *Mémoires de l'Académie de Berlin*, 1776.

Laplace (1) dans sa Mécanique céleste, que les variations des élémens des planètes perturbatrices, ne peuvent non plus produire aucune inégalité séculaire dans le moyen mouvement de la planète troublée. Il en a conclu que les inégalités, s'il en existe dans l'expression rigoureuse du moyen mouvement, sont nécessairement du même ordre, que les inégalités périodiques, et par conséquent d'un effet insensible.

Au premier bruit de la découverte de M. Poisson, M. Lagrange a repris une matière qu'il avoit perdue de vue depuis près de trente ans. Ses nouvelles tentatives ont été suivies d'un nouveau succès. La démonstration du théorème de M. Poisson étoit dépendante des formules déduites de la considération particulière du mouvement elliptique; M. Lagrange s'étant proposé de le démontrer dans la plus grande généralité possible, a trouvé de nouvelles formules indépendantes de la considération des orbites elliptiques; et telle est la généralité de son analyse, qu'elle pourroit être appliquée à toute autre hypothèse de gravitation, dans laquelle les orbites cesseroient d'être des sections coniques.

Pendant le même temps, le premier auteur de l'invariabilité des grands axes et des moyens mouvemens, M. Laplace perfectionnoit la théorie des perturbations planétaires, qu'il avoit présentée dans la Mécanique céleste. Il donnoit aux expressions des élémens des orbites la forme la plus simple dont ils soient susceptibles, et parvenoit à ne les faire dépendre que des différences partielles d'une même fonction, prises par rapport à ces élémens. La révision et le perfectionnement de ce qu'il

(1) *Mécanique céleste*, *tome* 1er, page 52.

avoit déjà fait, l'ont conduit à des formules analogues à celles de M. Lagrange. Les grands avantages qu'elles présentent, sont de pouvoir conclure directement l'invariabilité des grands axes et du moyen mouvement, de la forme même de la fonction perturbatrice, et de donner, de la manière la plus simple, les inégalités séculaires des élémens elliptiques, lorsqu'on néglige les carrés des forces perturbatrices, et que l'on veut tenir compte de toutes les puissances des excentricités et des inclinaisons des orbites. Il est glorieux pour M. Poisson d'avoir réveillé, par ses nouvelles recherches, l'attention de deux grands géomètres, sur l'un des phénomènes les plus remarquables du Système du Monde.

Après avoir développé les variations séculaires des élémens des six planètes principales, M. Lagrange a complété la théorie de leurs perturbations par la recherche de leurs inégalités périodiques, ou dépendantes de leur simple configuration. Il a donné les formules exactes de ces inégalités, et les a consignées, ainsi que leurs applications aux mouvemens de toutes les planètes dans les Mémoires de l'Académie de Berlin, de 1783 et 1784.

Tous les travaux de M. Lagrange sur l'Astronomie Physique, tant ceux qui précèdent que ceux qui suivent l'époque de 1781, portent l'empreinte d'un génie supérieur; seuls, ils auroient suffi pour sa gloire, s'il n'en avoit encore établi les solides fondemens sur la Mécanique analytique, le calcul des variations, les recherches qu'il a faites sur les nombres et la théorie des fonctions. C'est vers les découvertes de ce genre qu'il paroît avoir principalement porté ses vues, tandis qu'un rival également redoutable dans l'Analyse et la Physique céleste, lui disputoit les palmes d'Uranie; mais nous

n'établirons point ici de parallèle entre deux grands géomètres qui se sont partagés, pour l'étendre, le domaine des sciences Mathématiques. L'Europe savante jouit de leurs ouvrages et ne cherche point à les comparer.

Article III.

Grandes inégalités de Jupiter et de Saturne.

En 1781, le phénomène des grandes inégalités de Jupiter et de Saturne étoit constaté depuis près de deux siècles. Un grand nombre de conjectures avoient été formées sur leurs dérangemens mutuels, et déjà l'on commençoit à soupçonner dans leurs mouvemens certaines équations dont les périodes devoient être extrêmement longues; mais les observations connues étoient insuffisantes pour en apprécier les valeurs.

« Si la théorie pouvoit donner aujourd'hui ces équations, écrivoit, vers cette époque, le savant auteur de l'Histoire de l'Astronomie moderne (1), ce seroit un grand pas vers la connoissance des causes et vers la perfection de la science. » M. Laplace a franchi ce pas difficile, et l'Astronomie en éprouve déjà les heureux effets.

En comparant les observations anciennes avec les modernes, Kepler, Horoxe, Hévélius, Flamsteed, Maraldi, Halley, Cassini, Lemonnier et beaucoup d'autres astronomes, avoient remarqué, sans en expliquer la cause, une accélération dans le mouvement de Jupiter, et un

(1) *Histoire de l'Astronomie moderne, par Bailly, tome 3, page 248.*

ralentissement dans celui de Saturne. Pour corriger les effets de cette apparente altération, ils avaient cru nécessaire d'introduire dans les tables des deux planètes deux équations séculaires croissantes, comme les carrés des temps; l'une additive au mouvement de Jupiter, étoit, suivant Halley, de 34″,4 pour le premier siècle, à compter de 1700, et l'autre, soustractive de celui de Saturne, étoit de 83″,25.

Au moyen de ces deux équations introduites dans leurs tables, ils compensoient les excès ou les défauts de vîtesse acquise ou perdue dans leurs révolutions; ils attachoient même, en quelque sorte, les variations que présentent leurs mouvemens, au principe de la gravitation; car si l'une des deux planètes perd quelques degrés de vîtesse par l'attraction de l'autre, comme ils ne se perdent qu'avec une extrême lenteur, on peut supposer, sans erreur sensible, les degrés de vîtesse égaux, perdus en temps égaux, et dans ce cas les espaces augmentés comme les carrés des temps.

Cependant les erreurs des tables de Halley étoient très-variables, suivant les circonstances des temps; elles ne pouvoient représenter les inégalités considérables, observées dans les mouvemens de deux planètes, que l'on trouvoit plus rapides ou plus lents, suivant que l'on comparoit les observations anciennes avec les modernes, ou les modernes entre elles; suivant qu'ils étoient conclus des oppositions observées vers l'équinoxe du printemps (1), ou vers l'équinoxe d'automne.

---

(1) D'après la discussion d'un grand nombre d'observations, faite par Lalande, les retours de Saturne à l'équinoxe du printemps ont été trouvés plus prompts depuis un siècle, que ses retours à l'équinoxe d'automne.

Ast. de Lalande, 3ᵉ *édition*, *tom.* 1ᵉʳ, *page* 456.

Plusieurs astronomes et géomètres avoient tenté d'expliquer ces sortes de variations, les uns, par diverses positions des deux planètes dans leurs orbites, par celles de leurs périhélies; d'autres, par des causes indépendantes de leurs attractions mutuelles, telles que l'action des comètes et la résistance de la matière éthérée; mais dans la Physique céleste, les grandes vérités qui tiennent aux lois de la nature, ne peuvent acquérir le caractère de l'évidence que par un accord du calcul et de la Géométrie avec les phénomènes. C'est à cet accord qu'est enfin parvenu M. Laplace; c'est en satisfaisant aux principes comme aux observations, qu'il a renfermé les grandes inégalités des deux planètes dans un espace de temps déterminé. Le célèbre Euler n'avoit encore découvert dans la solution du problème, que des équations bornées dans leurs périodes à un petit nombre d'années. Les équations trouvées par M. Laplace s'étendent à plusieurs siècles.

Lorsqu'il entreprit de s'élever jusqu'à la cause de ces grandes inégalités, son premier soin fut de s'assurer que les altérations observées dans les moyens mouvemens des deux planètes, étoient indépendantes de toute action étrangère, et ne pouvoient être attribuées qu'à leurs attractions mutuelles. Il trouva (1) qu'en ne considérant que les inégalités à longue période, l'action réciproque des planètes devoit produire une quantité toujours à très-peu près constante dans la somme des masses de chaque planète, divisées respectivement par

(1) 3ᵉ édition de l'*Exposition du Système du Monde*, liv. 4ᵉ, chap. 2, et *Mécanique Céleste*, tome 1ᵉʳ, page 317.

les grands axes de leurs orbes; que les carrés des moyens mouvemens étant réciproques aux cubes de ces axes, si le mouvement de Saturne se ralentit par l'action de Jupiter, celui de Jupiter doit s'accélérer par l'action de Saturne; que le rapport des variations observées étant conforme à cette loi, il étoit vraisemblable qu'elles étoient un effet de leur action mutuelle; que puisque cette action ne peut produire dans leurs moyens mouvemens aucune inégalité constamment croissante, on devoit nécessairement en conclure qu'elles renferment dans leur théorie des inégalités considérables du genre de celles qui dans des temps marqués, augmentent, diminuent, s'anéantissent et se renouvellent; qu'elles n'en diffèrent enfin que par la grandeur des équations et la longueur de leurs périodes.

Ici se présentoit le fameux problème des trois corps, dont Euler, Clairaut et d'Alembert avoient donné les premières solutions, et qui, sous la main de M. Laplace, devoit recevoir de nouveaux développemens. Il n'étoit plus question de la lune troublée par le soleil, de deux astres qui par le rapport de leurs distances donnoient les moyens de représenter les effets des forces perturbatrices, par des suites de quantités suffisamment décroissantes pour s'arrêter dans les approximations cherchées aux premiers termes des séries : C'étoit Jupiter troublé par Saturne ou Saturne troublé par Jupiter. Le rapport de leurs moyens mouvemens sur lequel M. Laplace a principalement fondé sa Théorie, ne lui permettoit pas de se borner aux premières puissances des excentricités et des inclinaisons des orbites. Ses recherches sur les inégalités simplement proportionnelles à ces puissances, ou ne lui donnoient que des approximations insuffisantes,

ou ne lui laissoient entrevoir qu'un labyrinthe de calculs interminables : il se vit donc dans la nécessité de pousser ses approximations jusqu'aux cubes des excentricités et des inclinaisons des orbites, et dans la nouvelle route qu'il s'ouvroit à travers les plus grandes difficultés, il trouva des inégalités dépendantes de ces puissances et qui, susceptible d'acquérir par les intégrations de petits diviseurs, devenoient très-sensibles. Il marchoit dans des sentiers difficiles où nul avant lui n'avoit encore pénétré; il découvrit des vérités cachées dans les profondeurs de l'analyse qui lui montra et la nécessité de s'élever dans la théorie de Jupiter et de Saturne jusqu'aux quantités du troisième ordre, et dans leurs moyens mouvemens l'existence de deux grandes inégalités : elles se manifestèrent à ses yeux par la raison même que ces mouvemens, sans être exactement commensurables, approchent cependant beaucoup de l'être, et se rendirent sensibles dans les diviseurs carrés dépendans de cette commensurabilité, telle que *cinq fois le moyen mouvement de Saturne est à fort peu près égal à deux fois celui de Jupiter.*

Réduisant ensuite en nombres ses expression sanalytiques, M. Laplace trouva que la grande inégalité de Saturne (1) étoit de 48′ 44″, et sa période d'environ 919 ans; que l'inégalité correspondante de Jupiter devoit être renfermée dans la même période, mais affectée d'un

(1) Nous rapportons ici les déterminations données par l'auteur dans son Mémoire de 1784. Elles supposoient l'usage des tables de Halley. Ces déterminations ont un peu changé par l'addition de quelques nouveaux termes, faite par M. Laplace à sa formule, et les nouvelles corrections des élémens des tables. *Voyez la Mécanique céleste*, tom. 4, pag 338.

signe

signe contraire et diminuée dans le rapport d'environ 3 à 7; que les deux inégalités étoient à leur *maximum* en 1560; qu'à cette époque le moyen mouvement annuel apparent de Saturne étoit plus petit que le véritable de 20″,1; que le moyen mouvement annuel apparent de Jupiter étoit plus grand de 8″,6; qu'enfin, depuis ce temps les moyens mouvemens des deux planètes se sont rapprochés sans cesse de leurs véritables moyens mouvemens, et leur ont été égaux vers 1790.

Si dans la connoissance des mouvemens de Jupiter et de Saturne, la théorie a déchiré, pour ainsi dire, le voile de l'avenir, elle peut pénétrer aussi dans l'obscurité des temps passés, et remonter à près de cinq mille ans au-delà du temps présent. Nous remarquerons à cet effet, avec M. Laplace, que l'époque du renouvellement de l'Astronomie fut celle de la plus grande différence entre les moyens mouvemens apparens des deux planètes et les véritables; que de cette différence est née l'opinion des astronomes sur le ralentissement de Saturne et l'accélération de Jupiter; que si l'Astronomie ne se fût renouvelée que quatre siècles et demi plus tard, ils auroient au contraire accéléré la marche de Saturne et ralenti celle de Jupiter. Les observations anciennes faites sur les mouvemens de ces deux planètes peuvent donc servir à déterminer deux époques astronomiques, dont l'une remonte, suivant les calculs de M. Laplace, à l'an 3102 avant l'ère chrétienne, et l'autre à l'an 1491 de cette ère. A ces deux époques, le moyen mouvement de Saturne étoit le plus lent et celui de Jupiter le plus rapide. Ces mouvemens, calculés en conséquence des grandes inégalités maintenant connues, se rapprochent beaucoup

de ceux que donnent les Tables indiennes de Chrisnabouram (1).

Il ne restoit plus à M. Laplace qu'à comparer sa théorie avec les observations tant anciennes que modernes. Parmi les premières, il choisit une observation de Saturne, faite par les Chaldéens (2) l'an 228 avant notre ère, et l'une des meilleures qui nous ait été transmise par Ptolémée. La différence qu'il trouva dans la longitude géocentrique observée et la longitude calculée, ne fut pas d'une minute. Il choisit encore parmi les observations chaldéennes une occultation d'étoiles par Jupiter, laquelle détermine le lieu de la planète pour le trois septembre de l'an 240 avant notre ère, à $13^{h.}\,45'$, temps moyen à Paris. Le calcul la fit retrouver, à $6''$ près, dans la même position. Il s'éloigna beaucoup plus des observations de Ptolémée; mais les erreurs nées des formules, ne passèrent pas les limites de celles que comportent en général les observations anciennes.

Les expressions analytiques eurent l'avantage de satisfaire avec une exactitude plus constante et plus grande, aux observations modernes. Pour trouver jusqu'à quel point elles pouvoient s'accorder ensemble, il employa

(1) Suivant les Tables indiennes, le moyen mouvement sidéral de Saturne dans l'intervalle de 365 jours, est de $12° 12' 23''$, et celui de Jupiter de $30° 19' 52''$.

D'après le calcul, le premier de ces mouvemens étoit, l'an 3102 avant l'ère chrétienne, de $12° 12' 25''$, et le second, de $30° 19' 51''$, en l'an 1491 de notre ère, le premier étoit de $12° 12' 28''\frac{1}{5}$, et le second de $30° 19' 50''$.

Mémoires de l'Acad. des Sciences, 1785, pag. 127.

(2) D'après l'observation faite par les Chaldéens le 1er mars de l'an 228 avant notre ère, à $4^{h.}\,33'$ la longitude géocentrique de Saturne rapportée à l'équinoxe de 1750, étoit de $6^s\,6° 41' 10''$; elle étoit d'après la théorie, $6^s\,6° 40' 14''$, 5, différence $55''$,5.

les oppositions de Saturne comprises dans un intervalle de deux siècles, ou le premier quart de la période actuelle, depuis 1585 jusqu'à 1786. Comme ces oppositions donnent immédiatement les longitudes héliocentriques de la planète, et que par cette raison elles ont été observées par les astronomes avec le plus grand soin, il n'eut qu'à comparer avec elles les longitudes héliocentriques calculées. Il n'est résulté de cette comparaison aucune discordance remarquable. Sur quarante-trois oppositions comparées, aucune des différences ne s'est élevée jusqu'à deux minutes, et l'accord s'est trouvé d'autant plus grand, que les observations étaient réputées plus exactes.

C'est ainsi que M. Laplace a répandu la lumière sur une théorie qu'Euler lui-même avoit laissée imparfaite; qu'il a su concilier au moyen des grandes inégalités découvertes, la marche de Jupiter et de Saturne avec les observations, de quelque manière qu'on les compare, soit les anciennes avec les modernes, soit les modernes entre elles; qu'il a démontré la constance des moyens mouvemens sidéraux des deux planètes, le peu d'influence des comètes sur le système solaire et son oscillation perpétuelle *autour d'un état moyen dont il ne s'écarte jamais que d'une petite quantité.*

Ce qui peut paroître singulier et digne de remarque, c'est que la période assignée par l'analyse aux grandes inégalités de Jupiter et de Saturne, se retrouve à peu près dans une grande année formée par l'Astrologie, d'après les rapports des moyens mouvemens des deux planètes. Voici la formation de la période astrologique, telle qu'elle est rapportée par le géomètre même à qui nous devons aujourd'hui les plus belles dé-

couvertes sur les perturbations des mouvemens planétaires : « Si la conjonction de Jupiter et de Saturne » arrive au premier point d'Ariès, environ vingt ans » après elle a lieu dans le signe du Sagittaire, et vingt » ans encore après, elle arrive dans le signe du Lion : » elle continue d'avoir lieu dans ces trois signes pendant près de deux cents ans ; ensuite elle parcourt » de la même manière, dans les deux cents années » suivantes, les trois signes du Taureau, du Capricorne et de la Vierge ; elle emploie pareillement deux » siècles à parcourir les signes des Gémeaux, du Verseau » et de la Balance ; enfin, dans les deux siècles suivans » elle parcourt les signes de l'Écrevisse, des Poissons » et du Scorpion, et recommence après dans le signe » d'Ariès : de là se compose une grande année dont » chaque saison est de deux siècles. On attribuoit une » diverse température à ces différentes saisons, ainsi » qu'aux signes qui leur répondent ; l'ensemble de ces » trois signes se nommoit *Trigone ;* le premier trigone » étoit celui du feu, le second celui de la terre, le troisième celui de l'air, et le quatrième celui de l'eau. »

Cette grande année ne seroit-elle que l'emblême d'une connoissance plus approfondie des mouvemens des deux planètes ? L'Astrologie a quelquefois imité, dans ses symboles sur l'influence des astres, les anciens prêtres de l'Égypte, qui cachoient la véritable science au vulgaire sous des enveloppes grossières et le voile des hiéroglyphes : c'est ainsi qu'elle a représenté sous diverses figures, les situations respectives des planètes, et les constellations du zodiaque, par les douze maisons du soleil.

Cependant, si la période des grandes inégalités de Jupiter et de Saturne a été reconnue par quelques an-

ciens astronomes, ils paroissent n'en avoir retiré aucun avantage pour l'Astronomie : sa découverte, qui ne doit dater pour nous que de la fin du dernier siècle, en a considérablement reculé les bornes; elle a forcé les observateurs à une précision qu'ils avoient jusqu'alors dédaignée; elle a perfectionné les Tables astronomiques, avantage inappréciable pour celles de Jupiter, à cause de ses satellites et des services qu'ils rendent à la navigation; enfin le phénomène où paroissoit devoir échouer la gravitation, en est devenu la preuve la plus frappante.

ARTICLE IV.

Accélération apparente du moyen mouvement de la Lune.

Un autre phénomène analogue au précédent, et dont la cause long-temps inconnue s'est encore dévoilée aux yeux du même géomètre, est celui de l'accélération apparente du moyen mouvement de la lune.

Si l'on examine les observations anciennes faites par les Chaldéens et par Hipparque, celles des Arabes faites dans le 10e siècle, et les observations modernes, on voit que le même mouvement ne peut les représenter à la fois.

La longitude de la lune calculée par les Tables de Mayer pour l'époque de l'éclipse observée par les Chaldéens l'an 720 avant l'ère chrétienne, est moindre d'environ 1° 26′ 24″, que celle qui résulte de leurs observations; elles supposent donc plus rapide, le moyen mouvement d'après lequel elles ont été construites.

Les éclipses (1) observées à Geffa près du Caire, en

(1) Des doutes s'étoient élevés sur l'authenticité des observations d'Eba-Iounis, à cause de quelques obscurités du manuscrit arabe qui les contient; ils ont été dissipés par la traduction de M. Caussin, et le calcul des éclipses fait par M. Bouvard.

977, 978 et 979, par Ebn-Iounis, astronome arabe, indiquent une semblable accélération.

M. Delambre ayant déterminé, d'après un grand nombre d'observations des deux derniers siècles, le mouvement séculaire actuel de la lune, l'a trouvé d'environ 25″ plus petit que celui de Mayer. Les observations anciennes donnent aussi un mouvement séculaire moindre de trois ou quatre minutes. Ainsi, dans les diverses époques astronomiques comprises dans l'intervalle du temps qui s'est écoulé depuis les éclipses observées par les Chaldéens jusqu'à nos jours, on retrouve constamment les indices certains d'une accélération dans le mouvement de la lune.

Halley a le premier reconnu cette accélération vers la fin du 17e siècle; elle a été constatée depuis par Richard Dunthorne, vers le milieu du 18e. Pour corriger le moyen mouvement de la lune, ces deux astronomes ont augmenté sa longitude d'une quantité proportionnelle au carré du nombre des siècles, en remontant depuis 1700 jusqu'aux observations les plus anciennes. Dunthorne a porté cette correction, que l'on nomme *équation séculaire*, à 10″, Mayer à 7″ dans ses premières Tables, à 9″ dans les dernières, et Lalande, en suivant les observations des époques extrêmes et intermédiaires, à 9″, 886.

Cependant on ignorait encore la cause de cette accélération du mouvement lunaire, qui déjà se développoit depuis plus de deux mille ans. La durée de son accroissement devoit-elle être indéfinie, et pouvoit-on supposer que la lune, après une longue succession de siècles, se précipiteroit enfin sur le globe terrestre?

Les astronomes et les géomètres qui se sont occupés les premiers de cette importante question, ont imaginé

pour la résoudre diverses hypothèses physiques peu susceptibles de donner par le calcul l'équation séculaire de la lune déduite des observations; ils ont cherché la cause de son accélération dans la résistance de l'éther, dans la transmission successive de la gravité, dans l'influence de ces astres qui descendent des profondeurs du ciel vers le centre de notre système; mais nous verrons ci-après, que la même cause qui produit l'accélération du mouvement de la lune, produit aussi le ralentissement de son périgée et de ses nœuds, et que cette cause est indépendante de la résistance de la matière éthérée; nous verrons encore, que les effets de la transmission successive de la gravité sont insensibles, et l'on sait d'ailleurs que l'action des comètes n'est que passagère, et ne peut produire dans les mouvemens célestes une altération croissante avec les siècles.

M. Laplace, à qui l'Astronomie étoit déjà redevable de la découverte des grandes inégalités de Jupiter et de Saturne, a cru voir encore, dans l'accroissement du mouvement lunaire, une matière digne d'exercer la puissance de l'analyse. Il a commencé par discuter diverses causes d'accélération qui lui paroissoient les plus vraisemblables, telles que les variations de l'inclinaison de l'orbite lunaire sur l'écliptique, l'action directe des planètes et la figure elliptique de la terre.

Mais il n'a rencontré, dans cette savante discussion aucun indice d'équation séculaire. Il a remarqué qu'il n'en pouvoit non plus résulter aucun, ni de la combinaison des diverses équations du mouvement de la lune, ainsi que l'a prouvé d'Alembert, ni de sa figure alongée, ainsi que le démontre M. Lagrange, dans son Mémoire sur la Libration; enfin, n'ayant trouvé d'équation séculaire sen-

sible que dans quelques termes dépendans de l'excentricité de l'orbe terrestre, il en a conclu que l'accélération du mouvement lunaire étoit essentiellement liée aux variations de cette excentricité combinée avec l'action du soleil, qui devient plus ou moins puissante sur la lune, agrandit plus ou moins son orbite, accélère ou retarde sa vîtesse angulaire, suivant que l'excentricité de l'orbe terrestre augmente ou diminue.

C'est dans la cause même de cette accélération que M. Laplace a trouvé la preuve de son renouvellement périodique : elle doit en effet varier comme elle. Maintenant que l'excentricité de l'orbe terrestre diminue, l'orbite lunaire est moins dilatée et la marche de la lune est accélérée; elle sera au contraire retardée, lorsque cette excentricité, qui varie sans cesse par l'action simultanée de toutes les planètes, se retrouvera dans son accroissement. L'accélération du moyen mouvement de la lune n'est donc pas constante, et jamais la terre n'aura lieu de craindre la chûte du satellite qui pèse sur elle.

Mais quel est le terme de cette marche accélérée? à quelle époque doit-elle commencer à se ralentir? dans quelle période est-elle renfermée? La durée de la vie de l'homme n'est qu'un instant, comparée avec l'intervalle immense qu'elle embrasse : des milliers de générations doivent disparoître avant qu'elle se renouvelle : ses variations, qui s'élèvent à plusieurs degrés, ne se développent qu'avec une excessive lenteur. Quoique leurs limites soient encore inconnues, on peut présumer cependant qu'elles sont séparées par un nombre d'années dont la durée de notre existence ne compose pas la dix-millième partie.

La postérité sera peut-être plus éclairée sur cette grande

grande période; mais si quelques siècles de plus d'observations lui donnent les moyens de la connoître et de suivre avec plus d'exactitude les lois de la variation des mouvemens séculaires de la lune, elle ne pourra citer qu'avec reconnoissance le nom du géomètre qui nous a dévoilé la cause du phénomène et l'a représentée dans des expressions analytiques qui ne peuvent attendre que du temps leur véritable valeur; elle admirera la fécondité du principe découvert par Newton et les avantages précieux qu'en ont su retirer ses illustres successeurs.

M. Laplace se propose ici une nouvelle question, liée cependant à celle du mouvement accéléré de la lune. Ayant observé que l'étendue du phénomène connu sous le nom de *libration*, dépend de la grandeur de ses inégalités, que l'effet de celles que l'on nomme *périodiques*, est de découvrir à nos yeux d'autant plus de parties de son hémisphère invisible qu'elles sont plus grandes; il demande si ses inégalités séculaires qui les surpasseront un jour de plusieurs degrés, ne doivent pas, à la longue, découvrir successivement aux habitans de la terre toutes les parties de son équateur. L'analyse répond que la puissance de notre planète s'oppose à ce changement, qu'elle retiendra toujours vers elle la face aujourd'hui visible de son satellite, et le grand axe de son équateur dans la direction qu'il a reçue.

Après avoir découvert la cause de l'accélération apparente du mouvement de la lune, M. Laplace est arrivé aux moyens d'en corriger les effets. Il a proposé pour cet objet, d'après la correspondance qu'il a remarquée entre la diminution du carré de l'excentricité de l'orbe terrestre et l'accroissement de la vîtesse angulaire de la

lune, d'ajouter à son mouvement séculaire (1) un terme proportionnel au carré du temps, et un autre plus petit, proportionnel à son cube. Il a trouvé que la valeur de ce dernier devenoit sensible, en remontant jusqu'aux époques des éclipses observées à Babylone. Le terme proportionnel au carré du temps donne, d'après ses derniers résultats (2) pour le premier siècle, à partir de 1750, une équation de 10″, 18162, et le terme proportionnel à son cube, celle de 0″, 018538.

Cette correction, appliquée aux Tables de Mayer, les rapproche considérablement des observations anciennes, et les en rapprocheroit sans doute encore davantage, si ces observations étoient moins imparfaites; elle peut étendre enfin l'usage des Tables actuelles jusqu'à mille ou douze cents ans au-delà du temps présent.

ARTICLE V.

Ralentissement des mouvemens du Périgée et des Nœuds lunaires.

La comparaison des observations anciennes et modernes, en manifestant l'accélération apparente du moyen mouvement de la lune, a fait également connoître le ralentissement des mouvemens de son périgée et de ses nœuds.

M. Laplace ayant soupçonné ce ralentissement, avoit invité M. Bouvard à comparer avec les Tables toutes les éclipses transmises par Ptolémée, celles des Arabes, ex-

---

(1) *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1786, *page* 260.
(2) *Mécanique Céleste, tome* 3, *page* 273.

traites du manuscrit d'Ebn-Iounis, et plusieurs observations de la lune des deux derniers siècles. Le travail important de cet astronome a mis d'abord au grand jour l'existence d'une équation séculaire dans le périgée lunaire; elle n'a pas été constatée avec moins d'évidence par la comparaison (1) du mouvement que supposent à l'anomalie moyenne les Tables de la lune insérées dans l'Almageste, avec celui que donnent les Tables actuelles.

La distance de la lune au terme de sa plus grande latitude boréale, fixée par Ptolémée pour le commencement de l'ère de Nabonassar (2), comparée avec celle que donnent aujourd'hui nos Tables pour la même époque, a fait aussi reconnoître le ralentissement ou l'équation séculaire des nœuds; ce qui se conçoit aisément, si l'on observe que la distance de la lune au terme de sa plus grande latitude boréale, n'est autre chose que la position même de son nœud ascendant, augmentée de quatre-vingt-dix degrés, suivant l'ordre des signes.

Ces inégalités étant reconnues par les observations, il ne s'agissoit plus que de les soumettre à la théorie et d'en déduire les valeurs numériques; c'est ce qu'a fait M. Laplace, en ayant égard au carré de laforce perturbatrice. Il est arrivé par l'analyse exacte de tous les termes dépendans de l'excentricité de l'orbe terrestre, qui com-

(1) *Mémoires de l'Institut, Sciences math. et physiq.*, *tome* 2, *page* 136.

(2) L'ère de Nabonassar, roi des Assyriens, est une époque célèbre dans l'Almageste, où les observations et les calculs d'Hipparque et de Ptolémée sont rapportés à cette époque; son commencement répond au 25 février de l'année 746 avant l'ère chrétienne, à 22$^{h.}$ 9′ 38″, temps moyen à Paris, supposé plus occidental qu'Alexandrie de 1$^{h.}$ 50′ 22″.

posent l'expression du mouvement du périgée lunaire; à une équation séculaire soustractive de la longitude moyenne du périgée, et dont le rapport à l'équation séculaire du moyen mouvement de la lune est à peu près de 33 à 10; enfin il a trouvé pour dernier résultat, que le mouvement du périgée lunaire se ralentit de siècle en siècle, et qu'il est maintenant plus petit d'environ huit minutes par siècle, qu'au temps d'Hipparque.

Dans la recherche de l'équation séculaire des nœuds, M. Laplace s'étant arrêté d'abord à la première puissance de la force perturbatrice, a trouvé cette équation égale aux trois quarts de l'équation séculaire du moyen mouvement lunaire; elle en est devenue les sept dixièmes, lorsqu'il a poussé l'approximation jusqu'au carré. Elle est, dans les deux cas, additive à la longitude moyenne des nœuds; de sorte que les trois équations séculaires des moyens mouvemens de la lune, de son périgée et de ses nœuds, sont entre elles à peu près comme les nombres 100, 300 et 74 (1), rapport constant que donne la théorie de la pesanteur universelle, et que confirme aussi la discussion des observations anciennes et modernes.

Il résulte de ce rapport, que si la résistance de l'éther et la transmission successive de la gravité n'ont aucune influence sur le ralentissement du périgée et des nœuds de la lune, ainsi que le démontre M. Laplace, ces deux causes ne doivent produire non plus aucune accélération sensible dans son moyen mouvement, car cet effet détruiroit le rapport qui lie les trois équations séculaires; la cause dont elles émanent réside donc sensiblement

(1) *Mécanique Céleste, tome 3, pages 273 et 274.*

toute entière dans les variations de l'excentricité de l'orbe terrestre.

Si la cause de ces grandes équations nous est aujourd'hui dévoilée par la théorie, ce n'est que dans un avenir bien éloigné du temps présent qu'elles auront pris tout leur développement, puisque, d'après les calculs du géomètre qui les a soumises au même principe, elles doivent produire un jour dans le mouvement séculaire de la lune, des variations au moins égales au quarantième de la circonférence, et d'autres égales à son douzième dans celui de son périgée. Elles doivent comprendre, dans leur immense période, plusieurs millions d'années, et pendant ce temps encore indéfini, atteindre par des degrés insensibles et lents, les deux limites du ralentissement et de l'accélération; mais à quelque nombre de degrés qu'elles s'élèvent, quelque intervalle de temps qu'elles embrassent, elles n'en sont pas moins périodiques; elles sont donc aussi ramenées, comme celles de Jupiter et de Saturne, à la loi générale de la gravitation, à cette combinaison de forces qui se balancent sans cesse autour d'un état moyen, et dont l'équilibre toujours maintenu est le principe conservateur des mondes.

ARTICLE VI.

Inégalité lunaire à longue période.

Aux trois grandes équations dont nous venons de parler, nous en ajouterons une quatrième très-importante dans la théorie de la lune. Le prix proposé par l'Institut national, en 1798, et partagé par MM. Burg et Bouvard en 1800, fut l'occasion de sa découverte et

c'est par la comparaison souvent répétée des Tables avec les observations, que s'est manifestée son existence.

D'après la discussion de plus de cinq cents observations faites par Bradley entre 1750 et 1761, Mason et M. Bouvard avoient trouvé pour l'époque de 1756, la longitude moyenne des Tables exactement égale à la longitude déduite des observations; mais pour les époques antérieures et postérieures, les Tables et les observations présentoient des discordances très-sensibles. La discussion des observations faites par Flamsteed et Lahire vers 1690, indiquoit pour la correction moyenne des Tables de la lune, insérées dans la 3e édition de l'Astronomie de Lalande 4″, 4 en moins, c'est-à-dire que la longitude moyenne de la lune devoit être à l'époque de 1691, diminuée de cette quantité. Douze cents observations discutées par M. Burg, présentoient pour 1766 une correction moyenne de 3″, 0, et sept cents discutées par M. Bouvard, demandoient pour 1789 une correction de 17″, 6. Enfin la discussion de plus de quatre cents observations faites tant à l'Observatoire de Paris qu'à celui de Gréenvick, en demandoit une pour l'année 1801, de 28″, 5. Ainsi la longitude moyenne de la lune, calculée d'après les Tables, avoit besoin d'une diminution avant l'époque de 1756, et d'une augmentation après cette époque.

Ces diverses erreurs des Tables ne pouvoient dépendre uniquement du moyen mouvement; car étant comparées ensemble, elles donnoient des variations séculaires fort inégales; on auroit donc fait d'inutiles tentatives pour les concilier avec les observations par une nouvelle détermination du moyen mouvement, qui n'auroit fait que produire, après un petit nombre d'années, de nouvelles erreurs; il étoit donc nécessaire de suppo-

ser le moyen mouvement lunaire affecté d'une équation encore inconnue, dont l'influence devoit être à diverses époques inégalement sensible. C'étoit une conséquence évidente de la discussion d'environ dix-huit cents observations, qu'avoit présentée M. Bouvard, dans son Mémoire couronné par l'Institut national.

Ainsi, l'objet des astronomes étoit de trouver l'équation qui devoit faire disparoître les anomalies singulières du moyen mouvement lunaire; c'est ce qu'a fait M. Laplace, accoutumé depuis long-temps à vaincre les difficultés qui se rencontrent dans les théories astronomiques. Il a découvert cette équation, dont on venoit à peine de soupçonner l'existence; il en a déterminé (1) la forme, la période et le coëfficient, et la formule de correction qu'il a donnée pour les époques, réduit les erreurs à celles qui paroissent inséparables des meilleures observations.

La découverte de cette nouvelle équation de la lune n'est pas devenue moins utile à l'Astronomie que celle de ses grandes inégalités faite par Ptolémée, Kepler et Tycho. Elle n'étoit pas moins nécessaire pour déterminer la quantité précise de son mouvement séculaire, élément sur lequel repose essentiellement la durée de ses Tables.

Elle a été nommée *Inégalité à longues périodes*, sans

---

(1) Forme de la nouvelle inégalité lunaire.

—y (sin. anom. m. ☾ — long. m. ☾ + 2 suppl. ☊ + 3 périgée ☉.)

Sa période 184 ans.

On détermine par des équations de condition la correction de la longitude moyenne des Tables, pour une époque quelconque, la variation du mouvement séculaire de la lune et le coëfficient de l'inégalité qui, suivant M. Laplace, est de 47", 51 décimales, ou de 15", 39 sexagésimales.

Voyez la Mécanique Céleste, tome 3, page 294.

doute à cause du temps qu'elle emploie à se rétablir: elle est donc assujettie, comme toutes les inégalités observées jusqu'ici dans les mouvemens célestes, à des retours périodiques d'accroissement et de diminution.

ARTICLE VII.

Inégalités lunaires dépendantes de l'aplatissement de la Terre.

Deux autres inégalités lunaires très-remarquables, et par la cause qui les produit, et par les résultats étonnans qu'elles donnent, ont été soumises à la théorie par M. Laplace. La première est une inégalité en latitude, dépendante du sinus de la longitude vraie de la lune; la seconde, une inégalité du mouvement de longitude, dépendante de la longitude de son nœud.

Pour remonter à leur commune origine, M. Laplace observe que l'action du sphéroïde terrestre sur le mouvement de la lune, fait osciller son orbite de la même manière que l'action de la lune sur le sphéroïde terrestre fait osciller notre équateur; que chacune des deux nutations peut être considérée comme une réaction de l'autre. La nutation de l'orbite lunaire, qui seroit nulle dans l'hypothèse de la sphéricité de la terre, augmente en raison de son aplatissement, et le mesure par son étendue.

C'est cette nutation dont la période est égale à celle du mouvement des nœuds de la lune, qui produit les deux inégalités dont il est ici question, par son influence sur la position de ses nœuds, et sur l'inclinaison de son orbite, qu'elle diminue dans la coïncidence du nœud ascendant avec l'équinoxe du printemps, et qu'elle augmente

mente

mente dans celle du même nœud, avec l'équinoxe d'automne.

On conçoit aisément que si la théorie de la pesanteur et les observations peuvent donner les valeurs de ces deux inégalités, l'étendue de la nutation de l'orbite lunaire dont elles dérivent, sera connue, que l'on en pourra déduire l'aplatissement de la terre, qui lui-même est la cause de la nutation, cause à laquelle on remonte par degrés, et qui se mesure par ses effets. C'est ainsi qu'en liant des phénomènes qui se transmettent et se réfléchissent mutuellement d'un corps à un autre, M. Laplace fait voir que la lune, par les observations suivies de son mouvement, peut nous découvrir l'ellipticité de la terre, dont elle a fait anciennement connoître la rondeur par ses éclipses.

Pour se représenter la première inégalité, il suppose que l'orbite de la lune, au lieu de se mouvoir sur le plan de l'écliptique avec une inclinaison constante, se meut avec la même condition sur un plan passant constamment par les équinoxes, entre l'équateur et l'écliptique, et très-peu incliné à ce dernier plan. Il donne l'expression analytique de l'inclinaison des deux plans, ou plutôt du coëfficient de la seule inégalité sensible du mouvement lunaire en latitude, dépendante de la non-sphéricité de la terre. L'aplatissement qui résulte de ce coëfficient trouvé de — 8″,0 par M. Burg, d'après un très-grand nombre d'observations, est $\frac{1}{304,6}$.

La seconde inégalité avoit été déjà reconnue par Mayer; mais elle étoit négligée par la plupart des astronomes. Elle paroissoit même indépendante de la pesanteur à laquelle on ne pouvoit l'assujettir tant que sa cause étoit ignorée. M. Laplace l'a soumise à la même loi que la

T

première; il en a donné l'expression, qu'il a présentée également comme celle de la seule inégalité sensible du mouvement de la lune en longitude, produite par l'ellipticité de la terre. L'aplatissement qui répond à son coëfficient trouvé de — 6,7 par M. Burg, est $\frac{1}{305,05}$.

Ainsi, l'un des plus beaux résultats des inégalités précédentes est la détermination de l'aplatissement de la terre. Elles ont même sur les mesures géodesiques, dit M. Laplace, l'avantage de le donner d'une manière moins dépendante des irrégularités de sa figure. Aurait-on pu soupçonner, avant Newton, la correspondance qui se trouve entre deux objets qui paroissent si éloignés l'un de l'autre, la figure de notre planète et le mouvement de son satellite? la loi de la pesanteur universelle les a rapprochés; mais il n'étoit donné qu'au génie d'un grand géomètre, d'appercevoir les nœuds qui les unissent.

Article VIII.

Lois conservatrices de l'anneau de Saturne.

Un phénomène unique dans le système du Monde présentoit encore à la théorie de nouvelles recherches, de nouveaux obstacles à surmonter. A l'aspect de l'anneau singulier dont Saturne est environné, l'observateur surpris se demande par quel mécanisme cette voûte merveilleuse, séparée de la planète par un intervalle à peu près égal au tiers de son diamètre, se soutient en équilibre autour d'elle, par quels moyens la nature, en la formant, a veillé sur sa conservation. Il peut penser d'abord, que le maintien de son existence dépend de la seule adhérence de ses molécules; mais cette adhérence n'opposeroit qu'une résistance inutile à l'action continue de la

pesanteur qui détacheroit successivement les parties les plus voisines de la planète, et finiroit par entraîner la destruction totale de l'anneau. Il faut donc chercher ailleurs que dans la liaison intime de ses parties, les lois nécessaires à sa conservation.

Pour les trouver, M. Laplace a supposé un fluide homogène répandu autour de la planète, restant en équilibre en vertu des différentes forces qui l'animent. Celles qu'il met en action, sont, l'attraction mutuelle de ses parties, leur pesanteur vers Saturne, et pour la balancer, leur force centrifuge née du mouvement de rotation du fluide, mouvement qu'il suppose autour d'un axe perpendiculaire au plan de l'anneau, et passant par le centre de Saturne.

Appliquant à ces circonstances ses recherches sur les attractions des sphéroïdes, il démontre l'équilibre du fluide possible; s'il est divisé en plusieurs anneaux concentriques d'une largeur peu considérable relativement à leurs distances au centre de Saturne; si leur figure génératrice est celle d'une ellipse fort aplatie, dont le grand axe soit dirigé vers le centre de la planète; s'ils varient de grandeur et de position dans les divers points de leur circonférence, de manière que leurs centres de gravité ne coïncident pas avec leurs centres de figure. Il regarde même ces variations comme nécessaires pour empêcher que l'action de quelque force étrangère, telle que l'attraction d'un satellite ou d'une comète, ne rompe l'équilibre des anneaux, n'entraîne leur ruine et ne les précipite sur la planète.

Il détermine la durée de la rotation de l'anneau, qu'il trouve d'environ 44 centièmes de jour, ou de 10h. 33′ 36″. Il considère cette durée comme celle de la révolution

d'un satellité qui circuleroit autour de la planète à une distance égale à celle du centre de la figure génératrice. Il regarde enfin l'irrégularité des anneaux comme une condition essentielle à leur conservation, et leurs centres de gravité, comme autant de satellites qui se meuvent autour du centre de Saturne à des distances dépendantes de l'inégalité des parties de chaque anneau, avec des vîtesses de rotation, égales à celles de leurs anneaux respectifs.

Ainsi la Géomètrie soumet à ses calculs les événemens qui se passent à trois cent millions de lieues de notre planète, et devance les observations mêmes. Les inégalités de l'anneau dans ses diverses parties, sont confirmées par les phénomènes différens qu'il présente dans ses deux bras aux époques des apparitions et disparitions. Sa division en anneaux concentriques est également constatée; la durée de sa rotation est, à très-peu près, conforme (1) à celle qu'a déterminée, au moyen de son grand télescope, quelques années après M. Laplace, l'illustre observateur anglais, M. Herschel. C'est une douce satisfaction pour le savant, de voir qu'un phénomène qui semblait ne devoir être jamais connu, lui soit, pour ainsi dire, non-seulement révélé, mais qu'il soit encore confirmé par le témoignage des sens: ici la gloire du grand observateur s'unit à celle du grand géomètre.

---

(1) La rotation de l'anneau trouvée par les observations de M. Herschel, est de 10h. 32′ 15″ (*Phil. trans.* 1790.)

ARTICLE IX.

Lois qui balancent dans l'espace les trois premiers Satellites de Jupiter.

Passons maintenant des lois conservatrices de l'anneau de Saturne, à celles qui balancent dans l'espace les trois premiers satellites de Jupiter, lois qui méritent une attention particulière, puisque les Tables (1) de ces astres leur doivent une nouvelle perfection.

Ces lois qui doivent régler leurs moyens mouvemens et leurs époques, et subsister tant pour leurs moyens mouvemens sidéraux que pour leurs moyens mouvemens synodiques, et *généralement par rapport à un axe* (2) *mobile, suivant une loi quelconque*, résident dans les deux égalités suivantes :

Le moyen mouvement du premier satellite, ajouté au double de celui du troisième, forme une somme constamment égale au triple de celui du second.

La longitude moyenne du premier satellite, moins trois fois celle du second, plus deux fois celle du troisième, est égale à la demi-circonférence.

Ces lois sont, dans le système de Jupiter, ce que sont les lois de Kepler dans le système du Monde ; comme

---

(1) Les Tables de M. Delambre, qui présentent la plus grande exactitude, ont été assujetties aux conditions qui lient ensemble les trois premiers satellites. D'après la discussion d'un très-grand nombre d'éclipses, les observations paroissoient un peu s'en écarter. M. Delambre a fait aux moyens mouvemens séculaires de ces trois corps, ainsi qu'à leurs époques, les corrections nécessaires pour les en rapprocher. *Voyez la Mécanique Céleste, tome 4, page 135 et suiv.*

(2) *Mécanique Céleste, tome 4, page 66.*

ces dernières, elles porteront sans doute un jour le nom de leur auteur. M. Laplace, à qui nous en devons la découverte, ne pense pas que la nature les ait primitivement établies dans toute la rigueur qu'elles présentent; mais supposant, avec beaucoup de vraisemblance, que les trois satellites en ont fort approché dans leur origine, il démontre que leur action mutuelle les a rendues rigoureuses; que la même cause doit toujours les conserver et faire en conséquence participer les trois satellites aux mêmes inégalités, de quelque étendue qu'elles soient; que si l'on admet une équation séculaire dans les moyens mouvemens de l'un d'eux, des équations correspondantes doivent être admises dans les moyens mouvemens des deux autres; qu'elles doivent enfin se coordonner, de manière que l'équation séculaire du premier, augmentée du double de celle du troisième, soit égale à trois fois celle du second.

De la conservation rigoureuse de ces lois, M. Laplace déduit l'impossibilité de l'éclipse simultanée des trois satellites; il examine la position de l'un quelconque d'entre eux, lorsque les deux autres sont éclipsés à la fois, et trouve, par un calcul très-simple (1), qu'il est toujours hors de l'ombre projettée par Jupiter, ou bien en conjonction avec cette planète, et dans le cas de produire sur elle une éclipse de soleil. Les Tables des satellites de Jupiter, qui sont une représentation de leurs mouvemens, doivent satisfaire à cette condition de l'impossibilité de l'éclipse simultanée des trois premiers, prescrite par les rapports auxquels ils sont assujettis : celles de

---

(1) *Mécanique Céleste, tome 4, pages* 66 *et* 67.

Wargentin, publiées en 1746, pouvoient déjà la remplir pendant treize mille cent soixante-dix-neuf siècles.

Quoique les relations établies entre les trois premiers satellites puissent être regardées comme rigoureuses, cependant M. Laplace a découvert qu'elles présentoient une espèce de dérangement ou d'inégalité, qu'il désigne sous le nom de *libration*; que par l'effet de cette libration ils s'écartent de la demi-circonférence qui doit toujours résulter de leurs mouvemens en longitude; que l'angle qu'ils forment oscille de part et d'autre de l'état moyen de deux droits, vers lequel ils sont toujours ramenés par leur action mutuelle, de la même manière que le pendule est sans cesse ramené par la pesanteur dans la direction verticale; que cette espèce d'inégalité se distribue entre les trois satellites, suivant des rapports qui dépendent de leurs masses et de leurs distances au centre de Jupiter; et qu'enfin la période ou la durée de l'oscillation de l'angle qu'ils forment autour de l'état moyen d'une demi-circonférence, est de 2270j, 18, c'est-à-dire d'un peu plus de six ans (1).

Nous devons remarquer ici que M. Delambre a fait d'inutiles tentatives pour découvrir dans les observations quelques traces de cette inégalité qui n'a point échappé à la théorie. L'analyse exerce son action sur les plus petites quantités et n'est pas sujette à toutes les imperfections de nos instrumens.

---

(1) M. Laplace n'avoit d'abord déterminé que les limites dans lesquelles se trouve comprise la période de l'inégalité dont il est ici question et les avoit fixées entre 1503j, 5 et 4146j, 5, c'est-à-dire entre 4 ans et $\frac{1}{8}$ et 11 ans et $\frac{1}{3}$. Il a déterminé ensuite, par de nouveaux calculs, l'étendue de la période.

Voyez les Mémoires de l'Académie des Sciences, 1784, *page* 41, *et la Mécanique Céleste*, *tome* 4, *page* 138.

Après les découvertes dont nous venons de parler, il ne restoit presque plus aucun phénomène important dont la cause ne fût expliquée par la gravitation universelle. Le temps étoit donc venu de donner une théorie complète de l'Astronomie, et de remplacer dans les sciences *le livre des principes*, par *la Mécanique céleste* dont nous allons faire connoître les principaux résultats.

Cependant le mérite de ce dernier ouvrage n'ôte rien à celui du premier. Leur destinée est d'être immortels, et de marquer dans tous les temps le terme le plus élevé de la Physique céleste à deux époques séparées par l'intervalle d'un siècle.

DEUXIÈME

DEUXIÈME SECTION.

THÉORIE COMPLÈTE DE L'ASTRONOMIE,

DÉVELOPPÉE PAR LE PRINCIPE DE LA GRAVITATION UNIVERSELLE DANS LA MÉCANIQUE CÉLESTE.

A mesure que l'esprit humain approfondit les phénomènes de la nature, les idées s'étendent et se généralisent. Les géomètres du siècle passé se sont d'abord occupés partiellement de différens points relatifs au système du Monde. Ils ont ensuite résolu par approximation, le problème des trois corps, dont la solution est susceptible d'un grand nombre d'applications. Quelque temps après ils ont embrassé dans leur sphère l'ensemble du système planétaire; enfin le projet le plus vaste a été formé, celui de présenter tous les phénomènes connus, sous le point de vue général de la gravitation universelle: il étoit le plus bel hommage que l'on pût rendre à la mémoire de Newton.

M. Laplace qui l'avoit conçu, étoit aussi l'un des hommes qui pouvoient le mieux l'exécuter. Il étoit celui, dit un géomètre anglais (1), *qu'auroit choisi le monde savant s'il eût été consulté* : associé par ses découvertes aux plus grands géomètres de son siècle, au niveau de

(1) *Bibliothèque Britannique*, *février* 1809, *page* 94.

toutes les connoissances acquises soit dans l'analyse, soit dans l'Astronomie, il étoit encore doué du rare talent d'en tirer le plus grand avantage, et de faire sortir du sein de la discussion et de l'analogie les lois les plus cachées de la nature.

Environné des théories de ses prédécesseurs et de celles dont il avoit enrichi pendant vingt ans les Mémoires de l'Académie des sciences, il porte ses regards sur le système solaire et les Systèmes environnans qui lui ressemblent ; il voit les mouvemens des corps célestes, leur figure, les oscillations des fluides qui les recouvrent, et plusieurs autres phénomènes se réunir autour d'une loi commune ; il voit dans l'Univers le mécanisme le plus parfait naître de l'activité des forces principales qui l'animent, et l'influence des causes secondaires s'anéantir dans son immensité; il voit enfin l'assemblage des corps qui le composent, rigoureusement soumis aux lois générales de l'équilibre et du mouvement, et dans l'Astronomie, un grand problème de mécanique.

D'après ces idées, il présente le système complet des théories relatives à la gravitation, sous le titre de *Mécanique céleste.* Ce titre annonce la grandeur de son sujet et la direction qu'il donne à son ouvrage. Il annonce que les plus hautes spéculations de la Mécanique sont nécessaires pour le guider dans la route immense qu'il doit parcourir; il établit donc, dès son entrée dans la carrière, les lois de l'équilibre et du mouvement; mais de manière à pouvoir les appliquer aux questions importantes qu'il doit examiner.

ARTICLE PREMIER.

Lois de l'équilibre et du Mouvement.

Après avoir déterminé les conditions de l'équilibre d'un point matériel sollicité par un nombre quelconque de forces agissantes dans des directions quelconques, il considère le mouvement d'un point sollicité par des forces agissantes d'une manière continue, telle que la pesanteur.

En supposant le point assujetti à se mouvoir dans une surface courbe, il trouve que la ligne décrite par le mobile, est la plus courte que l'on puisse tracer sur la surface, du point de départ au point d'arrivée, et reconnoît aussi, par l'analyse, le principe de moindre action que les philosophes avoient établi par la métaphysique, d'après l'idée dont ils étoient pénétrés, que la nature parvient toujours à son but par les voies les plus simples.

En supposant le point matériel suspendu à l'extrémité d'une droite sans masse, il arrive à l'une des questions les plus intéressantes qui puisse se rapporter à la pesanteur, je veux dire celle du pendule. Il démontre que ses petites oscillations sont à très-peu près isochrones ou de même durée; mais que cet isochronisme qui n'est qu'approché pour le point matériel mu dans un cercle, devient rigoureux dans la courbe sur laquelle la pesanteur décomposée parallèlement à la tangente est proportionnelle à l'arc décrit du point le plus bas, quelle que soit l'étendue de cet arc, et trouve que cette condition n'est remplie que dans la cycloïde, courbe découverte par Huyghens, lorsqu'il appliqua le pendule aux horloges. M. Laplace embrassant le problème dans sa généralité, le résout dans le cas où le corps pesant seroit mu dans le vide et dans celui

où la résistance du milieu seroit proportionnelle aux deux premières puissances de la vîtesse.

Il s'occupe ensuite des lois de l'équilibre et du mouvement d'un système de corps. Dans l'examen des lois de l'équilibre, il établit le principe de l'égalité de l'action à la réaction qui se manifeste dans tous les phénomènes de la nature, et celui des vîtesses virtuelles (1) de Jean Bernoulli, qui donne le moyen de représenter analytiquement de la manière la plus générale, les conditions de l'équilibre du système, dans le cas où tous ses points sont invariablement unis. Il détermine, et par rapport à trois plans fixes et rectangulaires, et par rapport à trois points donnés dans l'espace, la position de son centre de gravité, point unique dans le système, et qui jouit de la propriété de le maintenir en équilibre, quelque position qu'on lui donne autour de ce point.

Pour établir les lois de l'équilibre des fluides, il considère chaque molécule qui doit être dans le même état que la masse entière, comme un parallelipipède rectangle infiniment petit, aux faces duquel les pressions des molécules environnantes doivent être perpendiculaires, et qui ne peut tendre à se mouvoir qu'en vertu de la différence des pressions exercées sur les deux faces

---

(1) Un corps ou système de corps, doué de vîtesses virtuelles, tend à se mouvoir sans avoir par le fait aucun mouvement. Ces vîtesses restent nulles par la destruction des forces motrices. Le principe des vîtesses virtuelles est renfermé dans le théorème suivant, qui contient aussi implicitement toutes les lois de l'équilibre.

« Si l'on fait varier infiniment peu la position d'un système de corps, en l'assujettissant aux conditions qu'il doit remplir, la somme des forces qui le sollicitent, multipliée chacune par l'espace que le corps auquel elle est appliquée parcourt suivant sa direction, doit être égale à zéro, dans le cas de l'équilibre du système. »

Mécanique Céleste, tome 1, page 41.

opposées. Ces différences de pression lui donnent trois forces perpendiculaires entr'elles, et le moyen d'unir les lois de l'équilibre d'une masse fluide au principe des vîtesses virtuelles dont il a fait usage pour l'équilibre des corps solides.

Mais pour présenter toute la mécanique sous la forme la plus générale, il ramène, comme d'Alembert, aux lois de l'équilibre celles du mouvement, qu'il lie aussi, comme Lagrange, au principe des vîtesses virtuelles ; de sorte qu'il rassemble dans une seule équation différentielle tous les élémens de la recherche du mouvement d'un système quelconque de corps.

De cette équation fondamentale, il déduit les principes de la conservation des forces vives (1), des aires (2),

---

(1) La force vive d'un système de corps est la somme des produits de la masse de chaque corps par le carré de sa vîtesse.

« Si les corps d'un système n'éprouvent d'autres actions que leurs tractions et » pressions mutuelles, soit immédiatement, soit par l'entremise de verges et de » fils inextensibles et sans ressort, la force vive du système est constante dans le » cas même où plusieurs de ces corps seroient astreints à se mouvoir sur des lignes » ou sur des surfaces courbes. » C'est dans cette loi que réside le principe de la conservation des forces vives. Il n'a lieu que dans le cas où les mouvemens des corps changent par des nuances insensibles.

Exposition du Système du Monde, 3e *édition*, *livre* 3, *chap.* 5, *et Mécanique Céleste*, *tome* 1, *page* 52.

(2) « Si l'on suppose un système de corps agissant les uns sur les autres d'une » manière quelconque, et sollicités par une force dirigée vers un point fixe ; si de » ce point, on mène à chacun d'eux, des rayons vecteurs que l'on projette sur un » plan invariable passant par ce point, la somme des produits de la masse de chaque » corps par l'aire que trace la projection de son rayon vecteur, est proportionnelle » au temps. » C'est dans cette loi fondée sur celle de la proportionnalité des aires au temps, découverte par Kepler, que consiste le principe de la conservation des aires. Ce principe subsiste dans le cas même où, par l'action mutuelle des corps du système, il survient des changemens brusques dans leurs mouvemens.

Exposition du système du Monde, *livre* 3, *chap.* 5, *et Mécanique céleste*, *tome* 1, *page* 57.

et du mouvement du centre de gravité (1); elle le ramène encore au principe de la moindre action, qui touche de près aux lois les plus simples du mouvement, et qui, combiné avec celui des forces vives, s'élève jusqu'à celles qui sont les plus compliquées.

M. Laplace va plus loin : il étend ses recherches aux lois du mouvement d'un système de corps, dans toutes les relations mathématiquement possibles entre la force et la vîtesse; il découvre des principes analogues aux précédens, et détermine, d'après ces nouveaux rapprochemens, les caractères qui distinguent l'état de l'équilibre de celui du mouvement.

Il donne aux lois du mouvement de rotation et de translation, tous les développemens qu'elles méritent par leur importance dans le système du Monde. Il démontre qu'un mouvement quelconque de rotation, doit s'opérer autour d'une ligne droite, fixe pendant un instant, variable d'un instant à l'autre, et nommée pour cette raison, *axe instantané de rotation;* qu'en donnant pour cause au mouvement de rotation d'un corps, une impulsion primitive qui ne passe pas par son centre de gravité, ce centre se meut comme si l'impulsion donnée lui étoit immédiatement appliquée, et que le corps tourne autour de son centre de gravité de la même manière que si ce centre étoit immobile.

---

(1) Si les corps d'un système agissent les uns sur les autres, le mouvement du centre de gravité est inaltérable, quelle que soit leur action mutuelle, et son inaltérabilité subsiste dans le cas même où quelques-uns de ces corps perdent pendant un instant une quantité finie de mouvement. Telle est l'idée que l'on peut se former du principe de la conservation du mouvement du centre de gravité.

Mécanique céleste, tome 1, page 56.

C'est par l'hypothèse d'une semblable impulsion qu'il explique le double mouvement de la terre sur son axe et dans son orbite. Il détermine, ainsi que l'avoit déjà fait Jean Bernoulli pour toutes les planètes, la distance (1) de son centre de gravité à l'impulsion primitive. C'est aussi par la même hypothèse qu'il donne beaucoup de vraisemblance à la translation (2) du système planétaire dans l'espace. Le soleil ne tourne sans doute sur lui-même qu'en vertu d'une impulsion qui le fait circuler avec son cortége de planètes et de satellites autour d'autres systèmes.

En s'occupant des lois générales du mouvement des corps tant solides que fluides, M. Laplace dirige continuellement ses recherches vers les grands objets qu'il se propose d'approfondir. S'il examine les variations que peut éprouver à chaque instant l'axe de rotation d'un corps de figure quelconque, ce n'est pas sans porter

---

(1) En supposant la terre homogène, la distance de son centre de gravité à la direction de l'impulsion primitive, suivant les calculs de M. Laplace, est $\frac{1}{160}$ de son rayon. Elle a été calculée d'après la formule suivante :

$$f = \frac{2}{5} \cdot \frac{R^2}{r} \cdot \frac{p}{U} \cdot$$

Dans laquelle f désigne la distance, R le rayon de la terre, r la distance au soleil, $\frac{p}{U}$ le rapport de la vitesse angulaire de rotation à la vitesse angulaire de révolution.

D'après Jean Bernoulli, la distance dont il est ici question est $\frac{1}{150}$ du rayon de la terre.

La distance du centre de gravité à la direction de l'impulsion primitive est moindre dans le cas où les couches les plus voisines du centre sont les plus denses.

Mécanique céleste, *tome* 1, *pages* 84 *et* 85.

Bernouilli opera, *t.* 4, *pag.* 283.

(2) *Exposition du système du Monde*, *liv.* 3e, *chap.* 5.

d'avance ses regards sur le problème de la précession des équinoxes et la libration de la lune. S'il établit les principes qui servent à déterminer les oscillations d'une masse fluide homogène recouvrant un sphéroïde doué d'un mouvement uniforme de rotation autour d'un des axes rectangulaires, c'est pour les appliquer au mouvement de la mer qu'il suppose dérangée de l'état d'équilibre par l'action de forces très-petites, c'est pour les appliquer aux oscillations de l'atmosphère, en ne considérant que les causes régulières qui l'agitent, ainsi qu'aux oscillations correspondantes qu'elles produisent dans la hauteur du baromètre.

Déjà nous pouvons reconnoître dans cet apperçu des lois de l'équilibre et du mouvement, une préparation nécessaire à la connoissance de celles qui règlent les mouvemens des astres. Nous pouvons pressentir les nombreuses applications que l'on en peut faire aux phénomènes célestes, et c'est ainsi que la Mécanique, agrandie par son objet, étend ses vues sans bornes dans l'immensité de l'Univers, et que l'Astronomie devient pour elle un grand problème dont la solution générale lui est réservée.

ARTICLE II.

Loi de la pesanteur universelle.

Des lois du mouvement et de celles que l'observation fait découvrir dans les mouvemens des corps célestes, M. Laplace s'élève à la loi de la pesanteur universelle. Il s'élève à cette loi par une route différente de celle de l'inventeur, qui, d'après la marche naturelle de l'esprit humain, remonte de la nature de la pesanteur terrestre

terrestre (1), à celle dont les corps célestes sont animés. M. Laplace ne connoît point de phénomène plus propre à la démontrer, que le mouvement elliptique des planètes et des comètes autour du soleil. Les lois découvertes par Kepler lui servent de points d'appui. D'après la loi des aires proportionnelles aux temps employés à les décrire, il établit la tendance des planètes et des comètes vers le centre du soleil; il démontre par l'ellipticité de leurs orbes, que la force qui les sollicite est réciproque aux carrés des distances à cet astre, et par la loi de la proportionnalité des carrés des temps des révolutions aux cubes des grands axes des orbites, que la pesanteur ne varie d'un corps à l'autre qu'à raison de ces distances; qu'en les supposant égales pour tous, ils se précipiteroient vers le soleil avec la même vîtesse. Il conclut, par les mêmes raisons, les mêmes principes de gravitation des satellites vers leurs planètes, et fait enfin graviter leur système entier vers le soleil, pour conserver dans leurs mouvemens relatifs autour des planètes, les mêmes lois que si ces planètes étoient immobiles.

---

(1) Il paroît d'après le récit de Pemberton sur la découverte de la pesanteur universelle, que les premières idées de Newton lui sont venues de la pesanteur des corps terrestres, et qu'il examina d'abord si la lune pesoit vers la terre comme les corps qui sont à sa surface, et suivant quelle loi. La plupart des physiciens, après Newton, ont suivi la même marche qu'ils ont regardée comme la plus simple. Roger Cotes, professeur d'Astronomie et de Physique expérimentale dans l'Université de Cambridge, s'exprime ainsi dans la préface de la seconde édition des Principes de Newton, donnés en 1713. *Igitur ut argumenti sumatur exordium à simplicissimis et proximis, dispiciamus paulisper qualis sit in terrestribus natura gravitatis, ut deinde tutiùs progrediamur ubi corpora cœlestia longissimè à sedibus nostris remota perventum fuerit.*

Mais pour la lune, compagne unique de la terre dans les espaces célestes, la loi de sa pesanteur ne peut être déterminée par la comparaison des révolutions et des distances, qui suppose un système composé de plusieurs satellites. M. Laplace emploie pour cette détermination celle de la parallaxe lunaire, déduite des expériences terrestres sur la pesanteur dans l'hypothèse de la gravitation réciproque au carré des distances; il obtient par cette méthode, à très-peu près le même (1) résultat qu'avoit déjà trouvé M. Triesneker par la discussion des observations d'un grand nombre d'éclipses et d'occultations d'étoiles par la lune, et conclut, dans le globe terrestre comme dans tous les corps célestes, l'existence d'une force attractive qui s'affoiblit en raison du carré de la distance. Il termine enfin cet article important qu'il a présenté sous des formes nouvelles, par quelques considérations sur la gravitation mutuelle de tous les corps, prouvée par le principe de la réaction toujours égale et contraire à l'action, et par les raisons qui la font reconnoître proportionnelle aux masses.

Article III.

RÉSULTATS GÉNÉRAUX DE LA GRAVITATION UNIVERSELLE.

Mouvemens des centres de gravité des Corps célestes.

C'est ici que M. Laplace s'ouvrant une route nouvelle au-delà de celle qu'avoit tracée Newton, établit en

---

(1) La différence entre le résultat de M. Laplace et celui de M. Triesneker est de 4″, 5 décimales ou de 1″, 5 sexagésimales.

Voyez la Mécanique céleste, tome 1, page 120.

conséquence du principe de la pesanteur universelle, les équations différentielles du mouvement d'un système de corps soumis à leur attraction mutuelle, équations qui deviennent, sous la main de l'auteur, une source féconde d'importantes découvertes ; c'est ainsi que l'analyse embrasse dans ses généralités des vérités inconnues qu'elle prodigue quelquefois à l'homme de génie qui n'auroit pu les obtenir par la méthode synthétique des Anciens, et c'est une raison pour établir sur elle la supériorité de l'analyse.

Celle-ci, regardée comme un instrument auxiliaire de l'esprit humain, multiplie d'autant plus ses forces, qu'elle est plus perfectionnée. Elle l'élève souvent à une hauteur qu'il ne paroissoit jamais devoir atteindre. C'est en se confiant à ce guide sûr, qui lui présente des signes aussi faciles à saisir que remarquables par leur brièveté, et le débarrasse du soin pénible de suivre une longue chaîne d'idées et de raisonnemens, qu'il arrive, pour ainsi dire, sans effort, au but de ses recherches. L'analyse est pour lui comme le fil d'Ariane, elle lui montre l'issue du labyrinthe, après lui en avoir développé tous les détours.

Ce n'est pas cependant que la synthèse doive être abandonnée ; elle a des charmes pour l'esprit, qu'elle éclaire de plus en plus, à mesure qu'il avance dans la route qu'il doit parcourir. Elle ne lui laisse faire aucun pas sans avoir assuré ceux qui le précèdent ; elle lui présente souvent des signes sensibles, propres à le satisfaire. Si l'analyse l'entraîne avec elle dans sa marche rapide, la synthèse s'accommode davantage à sa foiblesse, et lui fait prendre un essor moins élevé. Sa marche est sûre, mais lente et limitée. Elle compte parmi les modernes des partisans célèbres, à

la tête desquels nous devons placer l'immortel auteur du Livre des principes, qui montra toujours pour elle beaucoup de prédilection (1). Mais ses propres travaux et ceux des grands geomètres qui l'ont suivi, suffisent au triomphe de l'analyse.

Les équations différentielles dont nous venons de parler, présentent à l'auteur de la Mécanique Céleste, sept intégrales rigoureuses du premier ordre, lorsque le système n'est composé que de deux corps; mais dans le cas où le système est composé de trois ou d'un plus grand nombre de corps, il se trouve dans la nécessité de recourir aux méthodes d'approximation. Dans cette circonstance, il profite des facilités que lui présente la constitution du système solaire, formé de plusieurs systèmes partiels où les distances des satellites à leur planète sont très-petites en comparaison de la distance de la planète au soleil, et démontre que l'action de cet astre étant également répandue sur la planète et sur les satellites, ceux-ci se meuvent comme s'ils n'obéissoient qu'à l'action de la planète, et que le mouvement du centre de gravité d'une planète et de ses satellites est à fort peu près le même que si tous ces corps étaient réunis à ce centre. Il ne voit ainsi dans les trois systèmes de Jupiter, de Saturne et d'Uranus, si petits relativement aux distances qui séparent les corps célestes, que trois points massifs qui se meuvent dans l'espace autour d'un centre commun

(1) La philosophie de Newton est un mélange d'analyse et de synthèse; il emploie successivement dans sa marche l'une et l'autre méthode, l'analyse pour déduire les lois simples de la nature de quelque phénomène connu, et la synthèse pour expliquer, d'après ces lois, les autres phénomènes; c'est ainsi explique le système du Monde par la théorie de la gravitation.

de gravité; il conclut enfin de la théorie des propriétés attractives des sphéroïdes, sur lesquelles il établit quelques propositions générales, que les corps célestes s'attirent, à très-peu près, comme si leurs masses étoient réunies à leurs centres de gravité, non-seulement parce qu'ils sont fort éloignés les uns des autres, relativement à leurs dimensions respectives, mais encore parce que leurs figures diffèrent très-peu de la sphère.

Après l'exposition de divers principes sur les attractions des sphéroïdes, M. Laplace passe aux intégrations des équations différentielles, par des approximations successives. Observant que, dans le système solaire, les forces perturbatrices sont peu considérables, relativement à la force principale qui l'anime, il ne considère d'abord dans une première approximation, que l'action de deux corps qui s'attirent, et commence par donner la théorie de leur mouvement purement elliptique. Il expose la manière de le calculer par des suites convergentes, dans les deux cas que présentent les corps célestes, dont les uns se meuvent dans des ellipses fort voisines des cercles, comme les planètes et les satellites, et les autres dans des ellipses fort excentriques, comme les comètes. Il détermine ensuite les élémens de leurs orbites, en comparant entre elles les positions respectives des corps célestes, observées à des époques différentes. Il s'attache principalement à déterminer ceux de l'orbite d'une comète, qui ne peuvent l'être que d'après les circonstances de son apparition passagère. Ce problème lui paraît, comme à Newton (1), embarrassé de grandes difficultés. Il trouve sa solution

(1) *Problema hocce longè difficillimum multimodè aggressus*, disoit Newton, lib. 3, prop. 41, probl. 21.

rigoureuse au-dessus des forces de l'analyse, et pense qu'on ne peut avoir d'abord que des valeurs approchées des élémens de la comète, que pour les obtenir il faut non pas employer directement les observations, mais en tirer des données qui présentent le résultat le plus simple et le plus exact qu'il soit possible. Celles qui lui paroissent les plus propres à remplir cette condition, sont la longitude et la latitude géocentriques de la comète à un instant donné, et leurs premières et secondes différences divisées par les puissances correspondantes de l'élément du temps. Il déduit ces quantités d'un nombre quelconque d'observations voisines, et lorsqu'elles sont connues, il détermine, par une méthode générale, les élémens des orbites, pour un instant donné dans un système de corps soumis à leur attraction mutuelle; il fait ensuite l'application de cette méthode au mouvement des comètes, qu'il suppose animées seulement par l'attraction du soleil, et trouve, par une équation du septième degré, la distance de la comète à la terre. Cette distance étant connue pour un instant donné, ainsi que sa première différentielle divisée par l'élément du temps, il arrive par elles à la la détermination de l'orbite de la comète, en ayant égard d'une manière très-simple, à l'excentricité de l'orbe terrestre.

Mais pour rendre la solution du problème aussi simple qu'elle puisse être, M. Laplace observe que les orbites des comètes étant des ellipses très-alongées, se confondent sensiblement vers le périhélie avec une parabole. La considération d'un orbe parabolique lui donne une nouvelle équation du sixième degré, pour déterminer la distance de la comète à la terre, et le conduit aussi à plus d'équations que d'inconnues. Il fait voir que ces

équations différemment combinées entre elles, peuvent fournir autant de méthodes différentes pour calculer l'orbite. Il cherche celle dont il doit attendre le plus de précision et qui doit en même temps coûter moins de travail au calculateur. Il la divise en deux parties, donne dans la première le moyen d'obtenir à peu près la distance périhélie de la comète et l'instant de son passage par ce point; dans la seconde, celui de corriger ces deux élémens par trois observations éloignées entre elles, et d'en déduire tous les autres. Il examine enfin le cas extrêmement rare où la comète étant observée dans ses deux nœuds, son orbite peut être calculée d'une manière rigoureuse, et ramène exactement dans ce cas les élémens de l'orbe parabolique à ceux qui doivent leur correspondre dans l'ellipse.

C'est en traitant d'autres questions plus générales, et comme par incident, que M. Laplace paraît s'arrêter sur la détermination de l'orbite d'une comète. Sa méthode, l'une des plus sûres et des plus expéditives, a fait abandonner celles de ses prédécesseurs, dont plusieurs n'étoient qu'indirectes et graphiques, sans en excepter même celle de Newton.

De la détermination du mouvement elliptique des corps célestes par les forces principales qui les animent, M. Laplace passe aux forces perturbatrices de ce mouvement. Il examine les termes introduits dans les équations différentielles par l'action de ces forces et les changemens qu'ils doivent amener dans leurs intégrales finies en conséquence de cette augmentation. A la suite d'une recherche très-étendue sur les diverses méthodes d'intégration applicables aux questions qu'il considère, recherche qui mérite d'être méditée avec soin, et de

trouver place dans l'histoire de la Géométrie, il arrive à plusieurs résultats remarquables, tant sur les variations dépendantes de la configuration mutuelle des corps du système, que sur celles qui n'en dépendent point.

En faisant connoître les variations qu'éprouvent les élémens des planètes en vertu de l'action des masses perturbatrices, il les trouve d'abord nulles pour les grands axes et les moyens mouvemens, du moins tant qu'on néglige les secondes puissances de ces masses et celles des excentricités et des inclinaisons des orbites; il les trouve encore nulles, quelque loin qu'on pousse l'approximation par rapport aux excentricités et aux inclinaisons, pourvu que l'on s'arrête à la première puissance des masses.

En examinant les variations lentes et continues des excentricités et des inclinaisons, il démontre que ces variations ne peuvent jamais devenir très-considérables; il en découvre les limites dans les expressions des quantités constantes que l'action mutuelle des planètes ne peut altérer. Il trouve dans la première, que si l'on multiplie la masse de chaque planète par le carré de l'excentricité de son orbite, et ce produit par la racine carrée de sa distance moyenne au soleil, la somme de toutes ces quantités réunies demeure toujours constante. Il trouve une autre quantité du même genre relative à l'inclinaison, de sorte qu'aucune des excentricités et des inclinaisons ne peut s'accroître indéfiniment. Il établit ainsi d'une manière frappante, la stabilité des orbes des planètes et des satellites, et leur oscillation autour d'un état moyen d'ellipticité et d'inclinaison dont ils s'écartent peu, et conclut de là que jamais ces astres ne doivent circuler dans des orbes fort excentriques ou très-inclinés, et devenir des comètes, du moins tant que l'on ne considère

que

que leur action mutuelle. Il établit encore en conséquence des mêmes principes, que l'écliptique ne coïncidera jamais avec l'équateur, et porte seulement à trois degrés décimaux l'étendue entière des variations de son inclinaison.

C'est ici qu'il s'occupe d'une recherche intéressante et curieuse qui n'avoit encore été faite par aucun géomètre, c'est celle d'un plan invariable. Tout est en mouvement dans le système planétaire; les inclinaisons des orbites, quoique limitées, changent sans cesse; l'écliptique auquel nous rapportons tous les mouvemens célestes, n'est point immobile dans l'espace; les étoiles que nous regardons comme des points fixes dans le ciel, ont des mouvemens qui leur sont propres. Les changemens qui doivent résulter de cette grande variété de mouvemens, deviennent de plus en plus sensibles, et le seront encore davantage dans la suite des siècles. La recherche d'un plan invariable est donc d'une très-grande importance pour les astronomes, surtout lorsque dans l'avenir, au milieu des variations produites dans les orbes planétaires, ils voudront comparer des observations séparées par de longs intervalles de temps. Ce plan déterminé d'après les formules données par M. Laplace, est celui sur lequel la somme des aires décrites par les projections des rayons vecteurs des corps du système, multipliée respectivement par les masses de ces corps est un *maximum;* c'est ce plan qui, pendant le mouvement du système, doit toujours conserver une situation parallèle.

En considérant seulement le mouvement de deux orbites inclinées l'une à l'autre d'un angle quelconque, M. Laplace démontre qu'abstraction faite de toute cause érangère, les deux orbites doivent couper le plan inva-

riable relatif à leur système dans la même ligne droite; que le nœud ascendant de l'une coïncide avec le nœud descendant de l'autre. Il donne enfin l'expression du mouvement de cette intersection. Si l'on considère l'ensemble de toutes les orbites, le plan invariable prend une situation moyenne entre toutes leurs intersections, situation dépendante des actions de toutes les planètes; de sorte qu'elle diffère peu de celle du plan où se coupent les orbites des deux plus grands corps planétaires, Jupiter et Saturne. En suivant la division décimale de la circonférence, le calcul donne pour la longitude de son nœud ascendant au commencement du dix-neuvième siècle, 114°,6991, et pour son inclinaison à l'écliptique, 1°,7519.

C'est encore dans cette partie de la Mécanique céleste que M. Laplace remonte à la cause de l'accélération du moyen mouvement de Jupiter et du ralentissement de celui de Saturne, qu'il établit les lois qui lient ensemble les moyens mouvemens des trois premiers satellites de Jupiter; c'est là qu'il fait remarquer la circonstance singulière où se trouve le système de cette planète, de ne présenter les inégalités les plus sensibles du moyen mouvement, que parmi les termes de l'ordre du carré des masses perturbatrices. C'est dans les systèmes de Jupiter et de Saturne, dans celui de Jupiter et de ses satellites, qu'il fait ressortir, avec beaucoup d'habileté, des intégrations des équations différentielles, les inégalités dépendantes des rapports des moyens mouvemens. Enfin cette partie de son ouvrage peut être considérée comme une des plus remarquables par sa concision et sa richesse: elle est aussi serrée que féconde en principes, en résultats généraux et profonds, dont la plupart n'appartiennent qu'à lui

seul. Si quelques-uns étoient déjà connus avant lui, ils ont pris sous sa main un nouveau caractère qui leur donne le mérite même de ses découvertes.

FIGURE DES CORPS CÉLESTES.

M. Laplace ne se borne pas à considérer les résultats de la pesanteur universelle dans les mouvemens des corps célestes, il en recherche encore les lois à leur surface, lois qui dépendent de leur figure, comme leur figure elle-même dépend des lois de la pesanteur. Souvent dans la Physique céleste le géomètre se trouve enveloppé dans un cercle dont il a peine à sortir. Il éprouve cet embarras toutes les fois qu'il cherche deux vérités inconnues tellement liées entre elles que la connoissance de l'une soit nécessaire à la détermination de l'autre. Il ne peut alors vaincre les difficultés que par le secours des hypothèses et l'examen de la question considérée sous le point de vue le plus général. M. Laplace suppose donc les corps célestes recouverts, comme la terre, d'une masse fluide, et recherche la figure qui convient à l'équilibre de cette masse, dont les formes diverses dépendent de celles du noyau solide qu'elle recouvre et des forces dont elle est animée. Il envisage ce problème de la manière la plus étendue, et d'une seule équation fondamentale, il déduit par de simples différentiations, les conséquences les plus importantes, tant sur la figure de la terre que sur la loi de la pesanteur à leur surface.

Pour arriver à la solution de la question, il considère les solides dont la figure doit beaucoup approcher de celle des corps célestes, c'est-à-dire les sphéroïdes dans toutes les circonstances possibles. Il cherche les effets de

leurs attractions, lorsqu'ils sont homogènes et terminés par des surfaces finies du second ordre, lorsqu'ils sont peu différens de la sphère, lorsqu'ils sont composés de couches elliptiques, variables de densité, de position et d'excentricité, suivant une loi quelconque, lorsqu'ils sont doués d'un mouvement de rotation uniforme autour d'un axe fixe. Il examine généralement les attractions des sphéroïdes de quelque nature et forme qu'ils soient, et quelque position que l'on donne aux points attirés; il s'occupe enfin de la figure que les sphéroïdes supposés fluides doivent prendre en vertu des attractions mutuelles de toutes leurs parties et des autres forces qui les animent.

Les principes qu'il établit d'après ces diverses hypothèses, le conduisent à plusieurs conséquences importantes. En appliquant ces principes à la terre supposée un ellipsoïde de révolution, il en déduit le rapport de l'axe du pôle à celui de l'équateur; il fixe des limites à la rapidité du mouvement de rotation (1) des corps célestes, et trouve que pour concilier l'équilibre avec une figure elliptique, la durée de la rotation de la terre ne pourroit pas être moindre que $2^{h.}\ 25'\ 18''$. Il démontre que l'équilibre ne saurait subsister avec une figure alongée vers les pôles; ce qui seul auroit pu dissiper les doutes que l'on avoit conçus sur la figure de la terre, d'après les

---

(1) « Toute masse fluide homogène d'une densité égale à la moyenne densité de la terre, ne peut pas être en équilibre avec une figure elliptique, si » le temps de sa rotation est moindre que oj., 10090. Si ce temps est plus » considérable, il y a toujours deux figures elliptiques, et non davantage, qui » satisfont à l'équilibre. »

Voyez la Mécanique céleste, *tome* 2, *page* 58.

premières mesures exécutées en France par Dominique Cassini, s'ils ne l'avoient été par des mesures ultérieures. Il découvre dans l'équation générale des attractions des sphéroïdes, plusieurs figures que permet l'équilibre; mais il démontre qu'un sphéroïde homogène recouvert d'un fluide de même densité, sollicité seulement par l'attraction mutuelle de ses parties et par la force centrifuge de son mouvement de rotation, prend la figure d'un ellipsoïde de révolution, sur lequel les accroissemens de la pesanteur et les diminutions des rayons sont proportionnels au carré du sinus de la latitude; que dans ce cas la figure elliptique est la seule qui satisfasse à l'équilibre; que l'ellipsoïde dépouillé de son mouvement de rotation se réduit à une sphère, forme qui convient seule à l'équilibre d'une masse fluide homogène et immobile.

Il découvre encore dans l'équation générale des attractions des sphéroïdes, la loi de la pesanteur à leur surface, la longueur du pendule à secondes, proportionnelle à cette pesanteur, et dans l'expression développée du rayon du sphéroïde, le rayon osculateur et le degré du méridien. Il trouve dans les expressions du rayon terrestre, de la longueur du pendule et de la grandeur des degrés du méridien, un moyen facile de reconnoître l'incompatibilité de l'hypothèse de Bouguer (1), sur leurs variations, avec les observations du pendule, et de vérifier toute hypothèse imaginée pour concilier leurs diverses mesures.

Dans la recherche de la figure des corps célestes,

(1) Suivant l'hypothèse que Bouguer avait imaginée pour concilier les diverses mesures des degrés du Méridien, la variation des degrés de l'équateur aux pôles est proportionnelle à la quatrième puissance du sinus de la latitude.

M. Laplace a d'abord négligé le carré et les autres puissances de la force centrifuge et des attractions étrangères au sphéroïde comme n'étant capables de produire que des effets peu sensibles relativement à ceux du sphéroïde lui-même; mais il laisse voir clairement la possibilité d'étendre les approximations aux quantités des ordres supérieurs, en faisant sortir du calcul analytique une suite de figures qui, substituées dans l'équation de l'équilibre, laissent des restes de plus en plus petits et qui deviennent moindres qu'aucune grandeur donnée. Il arrive enfin à cette conséquence importante, que la figure qui doit satisfaire rigoureusement à l'équilibre est possible, mais inassignable, puisqu'elle ne seroit que le dernier résultat d'une suite infinie d'approximations successives.

M. Laplace compare ensuite sa théorie avec les observations; il donne les moyens de s'assurer, d'après les courbes tracées dans différens sens et dans diverses contrées, par une suite d'opérations géodésiques, si la terre est un ellipsoïde de révolution. Il reconnoît, par les ellipses différentes que donnent les degrés mesurés du méridien, que sa figure est beaucoup plus compliquée qu'on ne l'avoit supposé; mais afin de ne pas abandonner, sans de fortes raisons, la figure elliptique dont il étoit naturel de revêtir la terre et les planètes, en les imaginant originairement fluides, il expose deux méthodes pour reconnoître si les aberrations de la figure elliptique dans les degrés mesurés ne sont point renfermées dans les limites des erreurs des observations, et fait l'application de l'une des deux méthodes aux degrés mesurés au Pérou, au cap de Bonne-Espérance, en Pensilvanie, en Italie, en France, en Autriche et dans la

Laponie. Comme il ne peut éviter dans l'ellipse, quelque rapport qu'il choisisse pour celui des axes de la terre, une erreur de près de 49 fois le double de la toise du Pérou, il en conclut que la variation des degrés des méridiens terrestres s'écarte sensiblement de la loi du carré du sinus de la latitude, que donne l'hypothèse des méridiens elliptiques; conclusion qu'il déduit encore des dernières opérations faites par Mechain et M. Delambre, pour la mesure de l'arc du méridien terrestre compris entre Dunkerque et Barcelone.

S'il applique les mêmes méthodes aux longueurs observées du pendule à secondes, il prouve qu'elles se concilient, à un dix-huit cent millième près, avec l'hypothèse elliptique, et qu'elles s'écartent ainsi beaucoup moins que les degrés des méridiens, de la loi des variations de la pesanteur de l'équateur aux pôles, supposée proportionnelle au carré du sinus de la latitude. Il en trouve une raison évidente dans les termes de l'expression du rayon terrestre, beaucoup moins sensible dans la longueur du pendule que dans la grandeur des degrés.

Il passe ensuite de la figure de la terre à celle de Jupiter, dont l'aplatissement très-sensible est déterminé par les observations, avec beaucoup d'exactitude. Si l'axe des pôles est pris pour unité et la planète supposée homogène, son aplatissement calculé dans cette hypothèse, est de 0,1097; il n'est, d'après les observations de Pound et de Short, que de 0,0770: c'est ainsi que la terre composée de couches hétérogènes, est moins aplatie que dans le cas de l'homogénéité. Ici l'analogie (1) conduit, sur l'une et l'autre

(1) L'ellipticité de la terre supposée homogène est, d'après les calculs de Newton, $\frac{1}{230}$; elle est d'après les dernières observations du pendule d'environ $\frac{1}{310}$.

planète à la même conséquence, c'est-à-dire que la densité de Jupiter augmente, comme celle de la terre, de la surface au centre.

M. Laplace cherche encore la figure qui convient à l'équilibre de cette couronne circulaire qui paroît suspendue autour de Saturne; il trouve cette figure et les lois conservatrices de l'anneau, en appliquant à cette recherche l'équation fondamentale relative aux attractions des sphéroïdes. Il cherche enfin la forme que doit prendre le fluide rare et transparent dont les corps célestes sont environnés, et que nous nommons leur *Atmosphère.* Il observe d'abord qu'à mesure que le fluide atmosphérique s'élève au-dessus du corps qu'il environne, il devient de plus en plus rare, qu'il existe un état de rareté dans lequel ce fluide est sans ressort, que cet état doit avoir lieu à la surface de l'atmosphère, où le fluide n'est retenu que par sa pesanteur, et qu'enfin la figure de cette surface est telle, que la résultante de la force centrifuge et de la force attractive du corps lui est perpendiculaire. De ces principes, puisés dans la nature même du fluide atmosphérique qui participe au mouvement commun de rotation du corps qu'il environne, il déduit l'équation de sa figure et la plus grande limite de son aplatissement, et trouve que l'axe de ses pôles ne peut être moindre que les deux tiers de celui de son équateur.

Comme aux limites de l'atmosphère, la force centrifuge doit balancer la pesanteur; il conclut de ce principe, que celle du soleil ne peut s'étendre au-delà de l'orbite d'une planète qui feroit sa révolution dans un temps égal à celui de la rotation de cet astre, c'est-à-dire, en 25 jours et demi; que l'atmosphère solaire étant fort loin d'atteindre les orbes de Mercure et de Vénus,

et

et n'ayant qu'un aplatissement très-limité, ne peut être confondue, ainsi que l'avait pensé Dominique Cassini, avec la lumière zodiacale qui parait, sous une forme lenticulaire, s'étendre même au-delà de l'orbe terrestre.

La figure de la terre, celle de Jupiter, la merveille de l'anneau de Saturne, les lois qui maintiennent son existence, la durée de sa rotation, la forme que prend autour du globe terrestre le fluide que nous respirons, voilà les grands objets dont s'est occupé M. Laplace dans sa Théorie des attractions des sphéroïdes. En est-il de plus dignes de fixer l'attention, d'exciter le courage et les efforts d'un grand géomètre? Est-il un champ plus vaste où puisse s'exercer son génie? L'Univers, qui se dévoile à ses yeux, devient le théâtre de sa gloire. Il jouit des vérités nouvelles qu'il y découvre, du plaisir de les annoncer aux hommes, et de la reconnoissance future de la postérité.

OSCILLATION DE LA MER ET DE L'ATMOSPHÈRE.

Si par un heureux développement du calcul aux différences partielles dont les sciences physiques et mathématiques sont redevables à d'Alembert, M. Laplace est arrivé aux plus beaux résultats sur les phénomènes célestes, c'est aussi par une habile application des nouvelles forces de l'analyse et de la mécanique des fluides perfectionnée, qu'il a résolu, de la manière la plus complète, le problème important du flux et du reflux de la mer.

Newton, qui le premier a donné l'explication du phénomène des marées, fondée sur sa véritable cause, n'a point approfondi ce sujet. Il a fait connoître le pouvoir

qu'exercent le soleil et la lune pour élever les eaux dans leur passage tant au méridien supérieur qu'au méridien inférieur, leur a donné la figure d'un sphéroïde dont le grand axe est dirigé vers la lune, et s'est arrêté, pour ainsi dire, à ce premier aperçu qui lui suffisoit pour lier à la gravitation universelle, l'un de ses résultats les plus sensibles et les plus voisins de nous.

L'Académie des Sciences de Paris desirant une solution plus complète de ce problème, le proposa pour le sujet du prix de 1740. Les Mémoires couronnés développèrent la Théorie de Newton et devinrent la source de nouveaux progrès sur la connoissance des actions respectives du soleil et de la lune sur les eaux, suivant leurs positions par rapport à la terre. Mais les auteurs supposoient toujours que les eaux sont en équilibre sous la forme d'un sphéroïde alongé; l'état de l'analyse et de la mécanique ne leur avait pas permis de déterminer les mouvemens compliqués d'un fluide, sans cesse agité par les forces des astres qui l'attirent sans s'arrêter dans leur course, et par sa pesanteur vers la terre qui tourne rapidement sur elle-même; de sorte que l'explication du phénomène étoit encore restée très-incomplète.

M. Laplace est le premier qui l'ait envisagé sous le point de vue le plus général, et qui se soit en même temps le plus rapproché des observations; il a résolu le problème dans toutes les hypothèses possibles, et recherché celles que pouvoit admettre la Nature. Il n'avoit pour but dans cette recherche que d'analyser les phénomènes généraux des marées, résultans des forces attractives du soleil et de la lune, et de tirer des observations les données indispensables pour compléter dans chaque port, la théorie du flux et du reflux, données tou-

jours dépendantes des circonstances locales, telles que l'étendue et la profondeur de la mer, la variété de ses contours, l'inclinaison des côtes et des rivages.

Cependant les eaux de l'Océan, sans cesse agitées, lui présentoient des oscillations dont la nature étoit difficile à déterminer. Pour arriver à ce grand résultat, il s'est fait jour à travers une route longue et pénible, dont je ne puis que faire entrevoir ici rapidement les différens passages.

Après avoir fait entrer dans les équations différentielles des mouvemens de la mer, les forces qui troublent à chaque instant son équilibre, il considère d'abord le cas où la terre seroit à la fois immobile et sphérique, et donne l'expression générale de l'accroissement du rayon du sphéroïde, dans laquelle il embrasse toutes les figures et toutes les vîtesses dont le fluide est susceptible.

Il passe ensuite au cas plus difficile à résoudre, celui où la terre également recouverte par les eaux, seroit douée d'un mouvement de rotation, et trouve alors dans la recherche du rayon du sphéroïde, une équation différentielle dont l'intégration surpasse les forces de l'analyse, mais à laquelle il n'a besoin que de satisfaire pour trouver les oscillations dépendantes des actions du soleil et de la lune.

Il partage ces oscillations en trois classes; dans la première sont celles qui ne dépendent point de la rotation de la terre, mais seulement des astres circulans dans leurs orbites, et de la situation relative des nœuds lunaires. Elles varient avec une extrême lenteur et ne recommencent leur période qu'après un intervalle de temps considérable. Les oscillations de la seconde classe dépendent principalement du mouvement de rotation de

la terre, et recommencent dans le même ordre, après l'intervalle d'environ un jour. Celles de la troisième classe dépendent d'un angle double de la rotation angulaire de la terre, et se renouvellent après un demi-jour; ces oscillations, dont les trois espèces se mêlent sans se confondre, permettent à l'auteur de les examiner séparément.

En supposant d'abord la terre un ellipsoïde de révolution, M. Laplace démontre que celles de la première espèce sont presque anéanties par les résistances qu'éprouvent les eaux de la mer dans leurs mouvemens, et sont à peu près les mêmes dans leur effet, que si la mer se mettoit à chaque instant en équilibre sous l'astre qui l'attire.

Il passe aux oscillations de la seconde espèce qui renferment dans leur expression le moyen mouvement de rotation de la terre. Il détermine les oscillations de cette espèce, quelle que soit la loi de profondeur de la mer, pourvu que le sphéroïde qu'elle recouvre soit un ellipsoïde de révolution. Il donne en même temps l'expression de la différence des deux marées d'un même jour, et il en tire cette conséquence remarquable, que pour satisfaire aux observations, il faut supposer la profondeur de la mer très-petite et à peu près constante.

Dans l'examen des oscillations de la troisième espèce, qu'il détermine aussi d'après l'hypothèse précédente sur la profondeur de la mer, il démontre la nécessité d'avoir égard dans la théorie des marées, au mouvement de rotation de la terre, ainsi qu'au mouvement des astres attirans.

En donnant ensuite à la terre une figure quelconque, il démontre que les oscillations de la première espèce, presque anéanties par les résistances que la mer éprouve,

sont les mêmes dans cette hypothèse que dans la première ; que les oscillations de la seconde espèce ne pourroient disparoître pour toute la terre, qu'autant que la profondeur de la mer seroit constante, et que la disparition entière de celles de la troisième espèce supposeroit la profondeur de la mer infinie à l'équateur, et nulle aux pôles ; ensorte qu'elles peuvent être regardées comme indestructibles. Il obtient enfin, en donnant à la mer une profondeur quelconque, une valeur approchée de l'élévation totale de ses eaux au-dessus de leur surface d'équilibre, et trouve que dans cette supposition, l'heure de la marée n'est pas la même que celle du passage de l'astre qui la produit, au Méridien, et que la différence de ces heures peut être très-variable d'un port à l'autre. C'est ainsi que M. Laplace s'approche de plus en plus des phénomènes observés ; il les poursuit constamment pour les envelopper dans ses formules, tels à peu-près que les présente la nature. Il examine donc à cet effet la correspondance de la théorie avec les observations.

Après avoir considéré la mer comme un système d'une infinité de molécules animées par la pesanteur et par les forces attractives du soleil et de la lune, et décomposé ces forces suivant trois axes rectangulaires, le premier, dirigé dans le sens du rayon terrestre, le second, perpendiculaire à ce rayon et dans le plan du Méridien, et le troisième, perpendiculaire à ce plan, il donne l'expression de ces trois forces, en ne considérant d'abord que l'action du soleil qu'il suppose se mouvoir uniformément dans le plan de l'équateur et toujours à la même distance du centre de la terre. Dans cette expression composée de forces constantes qui ne font qu'altérer un peu la figure permanente que prend le fluide en vertu du

mouvement de rotation et de forces variables qui produisent ses oscillations, il ne considère que les dernières qui dépendent du mouvement de la terre, de la position de l'astre dans son orbite, et redeviennent les mêmes à chaque intervalle d'un demi-jour; il établit en conséquence pour elles comme principe général, que *l'état d'un système de corps dans lequel les conditions primitives du mouvement ont disparu par les résistances qu'il éprouve, est périodique comme les forces qui l'animent* et conclut de ce principe, que l'état de l'Océan doit redevenir le même à chaque intervalle d'un demi-jour; ensorte qu'il doit y avoir un flux et un reflux dans cet intervalle. Il en conclut encore, que l'ébranlement de la mer entière par une cause extraordinaire quelconque, seroit anéanti dans l'intervalle de quelques mois, et qu'en prenant le résultat moyen d'un grand nombre d'observations continuées pendant plusieurs années, ce résultat doit représenter à très-peu près l'effet des forces régulières qui agissent sur l'Océan.

Il présente une image de l'effet de ces forces dans une courbe dont les abscisses expriment le temps, et les ordonnées les hauteurs de la mer; il la conçoit formée toute entière, par la partie correspondante à l'abcisse qui représente un demi-jour répété indéfiniment. Il imagine, pour déterminer cette courbe, un second soleil parfaitement égal au premier, circulant comme lui, dans le plan de l'équateur, mais le devançant dans sa marche d'une certaine distance angulaire. Il évalue les forces de ce nouveau soleil, en imagine un troisième produisant à lui seul le même effet que les deux autres, et comme, par la nature des oscillations très-petites qui se superposent sans se confondre, la hauteur

de la mer ne peut être que la somme des hauteurs dues aux actions des deux premiers soleils, il égale cette somme à celle que donne l'hypothèse d'un troisième soleil ; ce qui le conduit à une équation linéaire entre trois ordonnées de la courbe. Il satisfait à cette équation et parvient enfin à l'expression de la hauteur de la mer, dans laquelle sont renfermées deux arbitraires, l'une, dépendante de la marée totale dans le port, et l'autre, du temps dont la marée suit le passage du soleil au Méridien.

Il trouve dans cette expression la loi suivant laquelle la mer s'élève et s'abaisse, et donne une idée sensible de cette loi dans un cercle vertical (1), dont la circonférence représente l'intervalle d'un demi-jour, et le diamètre, la marée totale, c'est-à-dire la différence des hauteurs de la pleine et de la basse mer. En supposant que les arcs de cette circonférence, en partant du point le plus bas, expriment le temps écoulé depuis la basse-mer, il représente les hauteurs de la mer, correspondantes à ces temps par les sinus-verses de ces arcs, et trouve ainsi, que la mer en s'élevant et s'abaissant, baigne, en temps égal, des arcs égaux de cette circonférence. Il observe que cette loi s'exécute pleinement au milieu d'une mer libre de tous côtés ; mais qu'elle est altérée dans nos ports par les circonstances locales ; que la mer y emploie un peu plus de temps à descendre qu'à monter, et qu'à Brest, la différence de ces deux temps est d'environ dix minutes décimales.

Il considère ensuite l'action de la lune de la même

---

(1) *Mécanique céleste*, tome 2, page 221. *Exposition du système du Monde*, 3e édition, livre 4, chap. 11.

manière et d'après les mêmes hypothèses ; il obtient pour cet astre une expression semblable à celle qu'il a déduite de l'action du soleil, et représente par leur réunion le flux composé qui résulte de deux flux partiels qui se combinent sans se troubler, ou la hauteur entière de la mer produite par les actions réunies du soleil et de la lune.

Son expression, qui renferme alors quatre constantes arbitraires, dont deux sont relatives au soleil et deux à la lune, fait connoître, par son inspection seule, diverses circonstances du phénomène des marées, les variations qu'elles éprouvent avec les phases de la lune, les cas où la hauteur de la mer est la plus grande ou la plus petite, ceux où les plus grandes et les plus petites marées arrivent en même temps et ceux où la plus petite seroit devancée par la plus grande. Elle donne encore le moyen de reconnoître laquelle des deux actions, solaire et lunaire, est la plus grande ; et c'est ici que l'on peut remarquer l'avantage des arbitraires qu'elle renferme, pour avoir égard aux circonstances locales dont il est nécessaire de tenir compte pour déduire des observations de la différence des marées produites par le soleil et la lune, le rapport de leurs forces attractives.

L'auteur trouve encore dans l'une des arbitraires de sa formule, le moyen de rendre raison d'un cas singulier observé à Batsa, port du royaume de Tunquin, et dans quelques autres lieux qui ne présentent point de flux et de reflux, en vertu des oscillations dont la période est d'un demi-jour. S'il est admirable de voir implicitement compris dans une formule d'une seule ligne tant de résultats différens, il l'est bien davantage encore d'avoir pu la découvrir.

M. Laplace examine ensuite ce qui doit arriver, lorsque

que le soleil et la lune, toujours mus dans le plan de l'équateur, sont assujétis à des inégalités dans leurs mouvemens et dans leurs distances, passe au cas de la nature où ces deux astres se meuvent dans des orbites inclinées à l'équateur, et détermine encore suivant ces diverses circonstances, les effets des actions réunies du soleil et de la lune sur l'élévation de la mer. Les expressions qu'il en donne, également fécondes en résultats, peuvent fournir les moyens de faire sortir de l'accord de la Théorie avec les observations, l'explication la plus satisfaisante des principaux phénomènes des marées, qu'il partage en deux classes, l'une relative à leurs hauteurs, et l'autre relative à leurs intervalles. Il les considère à leur *maximum* vers les syzygies et à leur *minimum* vers les quadratures, et compare les résultats que donne la Théorie de la pesanteur universelle, avec ceux des observations faites à Brest pendant six années consécutives.

Il commence d'abord par les phénomènes des hauteurs, et prouve l'accord de la Théorie avec les observations, par la loi de la diminution des marées, en partant de leur *maximum*, et la loi de leur accroissement, en partant du *minimum*, par les variations qu'elles éprouvent en raison des déclinaisons du soleil et de ses distances à la terre, par les différens rapports (1) qu'il trouve entre leur

(1) Les rapports suivans sont à très-peu près les mêmes par la théorie et par les observations.

La diminution des marées vers les syzygies des équinoxes est à leur diminution correspondante vers les syzygies des solstices, comme treize est à huit.

L'accroissement des marées, en partant de leur *minimum* vers les quadratures des équinoxes est à leur accroissement correspondant vers les quadratures des solstices, comme 2 est à 1.

La hauteur des marées totales dans leur *maximum* vers les syzygies des

diminution et leur accroissement vers les syzygies et les quadratures des équinoxes, et les diminutions et accroissemens qui leur correspondent vers les syzygies et les quadratures des solstices, par l'influence de la lune, qui croît exactement par les observations et par la Théorie de la pesanteur, comme le cube de sa parallaxe, et diminue comme le carré du cosinus de sa déclinaison; il renferme en conséquence les diverses circonstances des hauteurs dans une formule extrêmement simple, employée depuis plusieurs années à calculer pour la connaissance des temps, les plus grandes marées qui suivent, d'un jour ou deux, chaque nouvelle ou pleine lune, afin de prévenir les accidens qu'elles pourraient occasionner dans les ports; il trouve ainsi dans la science l'un de ses plus grands avantages, celui d'être utile aux hommes en les avertissant des maux qu'ils peuvent éviter.

Il considère enfin les phénomènes des intervalles, et prouve l'accord de l'observation avec la Théorie dans les retards des marées d'un jour à l'autre, qui ne sont dans les syzygies qu'environ la moitié de ce qu'ils sont vers les quadratures, retards qui varient encore avec les déclinaisons des astres et les distances de la lune à la terre. Ce sont ces phénomènes dont nous ne pouvons indiquer ici qu'une foible partie, qui considérés sous toutes les faces et discutés avec une habileté peu commune, donnent la plus grande évidence au principe de la pesan-

---

équinoxes est à leur hauteur correspondante vers les syzygies des solstices, comme le quarré du rayon est au carré du cosinus de la déclinaison des astres vers les solstices.

Mécanique Céleste, tome 2, page 292.

teur universelle, et font partager au lecteur la vive satisfaction que l'auteur a dû lui-même éprouver, lorsqu'il est arrivé à ce grand nombre d'heureux résultats.

Telle est à peu près la marche qu'a suivie M. Laplace pour résoudre complètement le problème le plus épineux de la Mécanique céleste. Aucun géomètre, avant lui, n'avoit embrassé dans ses formules autant de circonstances du phénomène et ne les avoit amenées comme lui au degré nécessaire pour en rendre l'explication complète; aucun n'étoit encore parvenu à faire disparoître la différence (1) presque insensible que présentent dans nos ports les deux marées d'un même jour, et c'est ce qu'a fait heureusement M. Laplace, en supposant partout à l'Océan, la même profondeur. Si quelques petits flux partiels restent encore enveloppés dans les erreurs des observations, ce n'est plus aux géomètres, c'est aux observateurs qu'il appartient de les suivre et de fournir aux premiers les élémens d'une plus grande précision.

Le problème du flux et du reflux de la mer a donné

---

(1) D'après les observations faites dans le port de Brest aux temps des solstices et des équinoxes, l'excès d'une marée du soir sur celle du matin dans les syzygies des solstices d'été, ou d'une marée du matin sur celle du soir dans les syzygies des solstices d'hiver, est de 0$^{\text{met.}}$, 183. L'excès d'une marée du soir sur celle du matin dans les quadratures de l'équinoxe du printemps ou d'une marée du matin sur celle du soir dans les quadratures de l'équinoxe d'automne, est de 0$^{\text{met.}}$, 138.

Cet excès est au précédent, suivant la théorie de M. Laplace dans le rapport de 4 à 3, rapport qui ne diffère de celui de 0,183 à 138, que d'environ seize millièmes.

Mécanique céleste, tome 2, pages 259 et 273.

lieu à M. Laplace de traiter une question qui n'avoit pas encore été agitée; c'est celle de la stabilité de l'équilibre des mers. Elle peut intéresser le savant dans les rapports qui la lient à plusieurs phénomènes d'histoire naturelle et l'homme en général sur la stabilité de sa demeure. N'est-il pas important pour lui de savoir si ces flots dont la fureur menace nos rivages, ne peuvent pas un jour franchir les limites qui leur sont assignées, et couvrir les continens qu'il habite; si quelque cause extraordinaire ne peut pas communiquer à l'Océan une commotion qui s'accroisse jusqu'à l'élever au-dessus des plus hautes montagnes.

M. Laplace soumet cette question à l'analyse; il examine la nature de l'équilibre de la mer, cherche les conditions nécessaires pour l'affermir, et trouve que son équilibre doit être stable, si la densité des eaux est moindre que la densité moyenne de la terre; mais qu'il seroit rompu dans le cas contraire. D'après les expériences faites sur les attractions des montagnes, la densité moyenne de la terre étant environ quatre fois plus grande que celle de la mer, il n'est pas à craindre qu'aucun ébranlement détache l'Océan du noyau solide qui l'enchaîne et le porte progressivement au-delà de ses limites. « Si donc, comme il est dif-
» ficile d'en douter, dit M. Laplace, la mer a recouvert
» autrefois des continens fort élevés au-dessus de son
» niveau, il en faut chercher la cause ailleurs que dans
» le défaut de stabilité de son équilibre. »

L'analogie conduit M. Laplace à rechercher si la même analyse qui détermine les oscillations de la mer ne pourroit pas déterminer aussi celles de l'atmosphère, en n'ayant égard qu'aux causes régulières qui l'agitent, si la même

cause ne produit pas sur l'un et l'autre fluide des mouvemens correspondans, et si l'on ne pourroit pas attribuer à cette cause les vents alizés qui soufflent constamment d'Orient en Occident entre les deux tropiques. Il considère donc les oscillations du baromètre résultantes des attractions du soleil et de la lune et trouve que dans les circonstances les plus favorables, la différence entre la plus grande élévation et la plus grande dépression du mercure dans le baromètre, à l'équateur, est à fort peu près égale à six dix millièmes du mètre, que la partie des oscillations qui n'est pas détruite par les résistances qu'éprouve le fluide atmosphérique, ne peut produire qu'un vent très-foible, dont la vîtesse excède à peine 75 millimètres par seconde, et qu'il faut en conséquence assigner aux vents alizés une autre cause (1) que l'action du soleil et de la lune sur l'atmosphère.

---

(1) M. Laplace attribue la cause des vents alizés à la chaleur solaire qui raréfie les colonnes d'air vers l'équateur. Suivant l'explication très-plausible qu'il en donne, " ces colonnes élevées par la chaleur au-dessus de leur véritable niveau, retombent par leur poids, se portent vers les pôles dans la partie supérieure de l'atmosphère, sont remplacées dans la partie inférieure par un air frais qui s'avance des pôles vers l'équateur, tourne, à cause de la vîtesse réelle qu'il a reçue vers les pôles par la rotation de la terre, plus lentement que ses parties correspondantes situées vers l'équateur, est frappé par les corps placés à la surface terrestre avec l'excès de leur vîtesse, et en éprouve par sa réaction une résistance contraire à leur mouvement de rotation. De là vient que pour l'observateur qui se croit immobile, l'air paroît souffler dans un sens opposé à celui de la rotation de la terre, c'est-à-dire, d'Orient en Occident, ou suivant la direction des vents alizés.

Exposition du système du Monde, liv. 4, chap. 12.

MOUVEMENT DES CORPS CÉLESTES

AUTOUR DE LEURS PROPRES CENTRES DE GRAVITÉ.

Aux figures des corps célestes sont liés leurs mouvemens autour de leurs centres de gravité; ces mouvemens dépendent des actions exercées par les corps extérieurs qui n'agissent pas également sur la sphère et sur des ellipsoïdes dont les aplatissemens sont différens. Si la terre étoit exactement sphérique, l'équateur terrestre seroit toujours parallèle à lui-même; les actions du soleil et de la lune ne feroient point rétrograder ses nœuds sur l'écliptique, les équinoxes ne seroient point déplacés, l'extrémité de l'axe terrestre ne se balanceroit point sur la petite ellipse qu'elle décrit autour du pôle de l'écliptique; c'est donc à l'aplatissement du sphéroïde terrestre que sont dûs les phénomènes de la *précession des équinoxes et de la nutation.*

Si la lune étoit exactement sphérique, la durée de sa rotation n'auroit pas été parfaitement égale à celle de sa révolution, l'axe de son équateur dirigé vers la terre n'auroit pas été invinciblement retenu dans cette direction par la pesanteur terrestre; il s'en seroit librement écarté, et tous les points de sa surface se seroient successivement découverts à nos yeux; mais l'axe dirigé vers la terre étant plus grand, s'il s'écarte un peu de cette direction, il s'y trouve sans cesse ramené par l'attraction de la terre, de la même manière qu'un pendule écarté de la verticale, y revient sans cesse, en se balançant de chaque côté de cette droite. Ainsi le grand axe de l'orbite lunaire oscille de chaque côté du rayon vecteur de cette orbite. Ce mouvement connu sous le nom

de *libration*, résulte donc encore de la non-sphéricité du globe lunaire.

On a vu (1) que si les anneaux de Saturne étoient des solides réguliers dont les centres de gravité coïncident avec leurs centres de figure, leur équilibre pourroit être bientôt détruit par l'influence de quelque force étrangère; l'irrégularité de leur figure combinée avec l'action exercée sur eux par le soleil et les satellites, doit produire dans leurs plans, des mouvemens de précession analogues à ceux de l'équateur de la terre, mouvemens aussi dépendans de leur figure. C'est sous ce point de vue général que M. Laplace considère, à la fois, les phénomènes de la précession des équinoxes, de la nutation, de la libration réelle de la lune et des oscillations des anneaux de Saturne. Il les comprend sous le même titre, et leur applique la même analyse qui, modifiée suivant les diverses considérations que présente la nature, peut s'étendre généralement à tous les corps célestes.

L'explication des deux premiers phénomènes avoit été déjà donnée par d'Alembert, celle du troisième par M. Lagrange. Le premier a déterminé le mouvement de l'axe de la terre et les dimensions de l'ellipse qu'il décrit autour des pôles de l'écliptique. Il a donné la solution rigoureuse du problème, et rectifié Newton, en confirmant sa doctrine. Le second a démontré que par une suite de l'attraction terrestre, les nœuds de l'équateur de la lune coïncident avec ceux de son orbite, que l'excès de sa protubérance sur les pôles, est quatre fois plus grand dans la partie du sphéroïde lunaire dirigé vers la terre, que dans l'hémisphère opposé.

---

(1) *Suprà*, pag. 147.

M. Laplace est entré dans la même route que ses deux illustres prédécesseurs, et l'a parcourue encore avec succès; il a découvert sur les phénomènes de la précession, de la nutation et de la libration de la lune, de nouvelles questions intéressantes à résoudre. Après avoir donné les expressions du mouvement des équinoxes et de l'inclinaison de l'axe de la terre sur l'écliptique vraie, qui peut être regardée elle-même comme mobile sur l'écliptique fixe, il démontre que sans l'aplatissement du sphéroïde terrestre, les variations de l'obliquité de l'écliptique vraie à l'équateur et celle de la longueur de l'année seroient beaucoup plus considérables; que les actions du soleil et de la lune qui font mouvoir l'équateur de notre globe en conséquence de son aplatissement, les réduisent à peu près au quart de leurs valeurs; mais que les variations qui pourroient résulter de ce mouvement sur la durée du jour moyen et la rotation de la terre, sont insensibles.

Cependant, comme l'uniformité du mouvement diurne et la constance de la durée du jour moyen, sont des élémens si nécessaires pour la mesure du temps et celle des révolutions des corps célestes, il étoit important d'examiner si les oscillations de la mer, si ses courans, si l'impétuosité de ses flots qui viennent se briser contre les rivages, si les torrens qui se précipitent avec fracas des montagnes les plus élevées, si le choc des vents, les tremblemens de terre, si toutes les causes enfin qui dans son intérieur et à sa surface produisent de si grands effets, n'altèrent point les mouvemens de son axe ou de son équateur.

En s'appuyant ici sur le principe de la conservation des aires, M. Laplace prouve que ces ébranlemens si sensibles sur les diverses parties du sphéroïde terrestre, n'ont

n'ont aucune influence sur son axe; que *les mouvemens de la terre autour de son centre de gravité sont les mêmes que si la mer formoit avec elle une masse solide ;* que les oscillations de l'atmosphère ne troublent pas non plus son mouvement de rotation; que la chaleur solaire qui produit les vents alizés qui soufflent constamment entre les tropiques, dilate également l'air dans tous les sens; que si ces vents diminuent la rotation de la terre, les autres mouvemens de l'atmosphère, qui ont lieu au-delà des tropiques, doivent, pour la conservation de la somme des aires, l'accélérer de la même quantité. Il applique le même principe et le même raisonnement aux tremblemens de terre, aux torrens et autres causes qui paroissent bouleverser la surface et l'intérieur du globe terrestre. Il ne voit rien enfin qui puisse altérer les mouvemens de son axe, si ce n'est le déplacement de ses parties, transportées par quelque changement extraordinaire des pôles à l'équateur, ou de l'équateur aux pôles.

Il examine ensuite les mouvemens de la lune autour de son centre de gravité, et démontre que les deux moyens mouvemens de rotation et de révolution de cet astre sont parfaitement égaux, et que l'action de la terre sur le sphéroïde lunaire fait participer le dernier de ces deux mouvemens aux inégalités séculaires du second. Il ne suppose pas cependant qu'à l'origine les deux moyens mouvemens aient été parfaitement égaux, mais il pense que la pesanteur terrestre a suffi pour établir leur parfaite égalité, et que de leur différence primitive dépend l'étendue de la libration réelle de la lune ou l'excès de son mouvement réel de rotation sur son moyen mouvement.

Il attache encore par le lien commun de la pesanteur universelle au phénomène de la coïncidence des nœuds

de l'équateur et de l'orbite lunaire, celui de la constance de l'inclinaison moyenne de l'écliptique à ce même équateur. L'enchaînement des deux phénomènes que confirment aussi les observations, lui donne lieu de comparer les conditions qu'ils imposent avec celles que donne la théorie de la figure du sphéroïde lunaire, et de conclure de ce rapprochement, que la lune n'a point la figure d'équilibre qu'elle auroit prise, si elle avoit été primitivement fluide.

Tels sont à peu près les nouveaux résultats obtenus par M. Laplace, sur des sujets déjà traités par d'Alembert et M. Lagrange; mais une matière sur laquelle il n'a point eu de précurseur, est celle du mouvement des anneaux de Saturne autour de leurs centres de gravité. Il trouve la cause de ces mouvemens dans les actions du soleil et des satellites de la planète, qui font rétrograder les nœuds que forment les anneaux avec le plan de son orbite, de la même manière que les actions du soleil et de la lune font rétrograder les équinoxes; mais il observe que les différens anneaux irréguliers dans leurs figures, et soumis à des forces différentes, cesseroient bientôt d'être dans un même plan, s'il n'existoit une cause qui les y retient. C'est la recherche de cette cause qui l'a conduit à la découverte de la rotation et de l'aplatissement de Saturne, avant que ces deux phénomènes eussent été reconnus par les observations. Ayant introduit dans sa Théorie la circonstance de l'aplatissement de cette planète, produit par un mouvement rapide de rotation, il a trouvé que les angles formés avec son équateur par les axes principaux des anneaux situés dans leurs plans, sont très-petits, et conclut que c'est par l'action du sphéroïde aplati de Saturne tournant rapidement sur lui-même, que les anneaux sont retenus à fort peu près dans le plan

de son équateur; que c'est aussi par la même action que sont retenus dans le même plan les orbes des six premiers satellites. Il a conclu de la même Théorie la rotation rapide d'Uranus autour d'un axe à peu près perpendiculaire au plan des orbites de ses satellites, phénomène peut-être à jamais inaccessible aux observations, et dont la découverte manifeste encore évidemment la puissance de l'analyse.

ARTICLE IV.

RÉSULTATS PARTICULIERS DE LA GRAVITATION UNIVERSELLE.

Mouvemens des planètes.

De ces vues générales sur le Mécanisme du monde, M. Laplace descend à des Théories particulières : il considère les mouvemens des planètes troublés par leur attraction mutuelle, applique à ces inégalités les méthodes et les formules qu'il avoit d'abord présentées d'une manière générale, leur donne de nouveaux développemens, s'assure de la nullité de l'influence de l'ellipticité du soleil et des satellites de Jupiter, de Saturne et d'Uranus sur le système planétaire, fait connoître les diverses quantités qui doivent entrer dans les expressions des inégalités, transforme en valeurs numériques toutes les expressions analytiques relatives aux variations séculaires des orbites, et substitue enfin dans ses formules les nombres qui doivent se rapporter à chaque planète.

En posant ici les fondemens de la nouvelle perfection des tables, M. Laplace reconnoît tout ce qu'il doit dans ces transformations et substitutions au zèle de M. Bouvard; il a cru devoir faire participer à la reconnoissance des astronomes le calculateur habile qui l'a secondé.

D'après les résultats d'un travail immense et pénible, il expose pour toutes les planètes les inégalités de leurs rayons vecteurs et celles de leurs mouvemens en longitude, parmi lesquelles les unes sont indépendantes des excentricités, d'autres dépendent, soit de leur première puissance, soit de leurs puissances supérieures en même temps que des simples produits, de ceux de deux, de trois et de cinq dimensions des excentricités et des inclinaisons des orbites.

Dans le calcul des grandes inégalités de Jupiter et de Saturne, il porte l'approximation jusqu'au carré de la force perturbatrice, et conçoit l'espérance fondée d'un accord constant entre sa Théorie et les observations. Il expose aussi les inégalités des mouvemens des planètes en latitude et les causes qui les produisent.

Dans la Théorie de la terre, il observe que cette planète, dont les astronomes avoient jusqu'ici invariablement fixé les mouvemens dans le plan de l'écliptique, s'en écarte un peu; que cet écart influe sur l'obliquité de ce plan, sur l'instant de l'équinoxe, sur les ascensions droites et les déclinaisons des étoiles déterminées par leur comparaison avec le soleil; que la précision des observations modernes exige que l'on ait égard aux inégalités du mouvement apparent de cet astre en latitude. Il les fait en conséquence entrer dans ses formules. Il examine encore, à cause de leur influence sur les phénomènes les plus importans de l'Astronomie, les variations séculaires des élémens de l'orbe terrestre, et donne les expressions nécessaires pour calculer la précession des équinoxes et l'obliquité de l'écliptique dans l'intervalle de mille ou douze cents ans avant et après l'époque de 1750. Il détermine enfin deux époques astronomiques

très-remarquables, la première, par la coïncidence du grand axe de l'orbe terrestre avec la ligne des équinoxes; la seconde, par sa position perpendiculaire sur cette ligne. Il fait remonter la première à l'an 4004 avant l'ère chrétienne, temps ou la plupart des chronologistes placent la création du monde; la seconde, à l'an 1250 de notre ère. Nous verrons que ces deux époques sont susceptibles de quelques petits changemens, d'après une détermination plus précise des masses de Vénus et de Mars.

La considération des mouvemens des planètes troublés par leur action réciproque, entraîne celle de leurs masses; c'est en raison de leurs masses qu'elles agissent les unes sur les autres. Leur connaissance peut donc être regardée comme un des objets les plus importans de leur théorie. Après en avoir donné les valeurs calculées par divers moyens (1), M. Laplace expose les motifs de l'incertitude (2) qui subsiste encore à cet égard. Il observe que cette incertitude doit un jour disparoître par le développement des inégalités séculaires; mais qu'en attendant leur détermination précise qui ne peut être que l'ouvrage du temps, on peut faire usage des inégalités périodiques auxquelles sont liées les masses des planètes; que c'est par la discussion d'un grand nombre d'observations du soleil que M. Delambre a déterminé le *maximum* des inégalités produites par les actions de Vénus, de Mars et de la lune sur le mouvement de la terre, que ces

(1) M. Laplace détermine par une formule très-simple, les masses des planètes accompagnées de satellites. Quant à celles qui n'en n'ont point, il détermine leurs masses par des considérations particulières dont on peut voir les détails dans le troisième volume de la Mécanique céleste, page 61 et suiv.

(2) *Mécanique céleste*, tom. 3, page 63.

inégalités indiquent pour Vénus une masse plus grande (1) que celle dont la valeur est conclue de la diminution séculaire de l'obliquité de l'écliptique, et pour Mars une masse plus petite (2) que celle qui se déduit de l'hypothèse des densités réciproquement proportionnelles aux moyennes distances des planètes au soleil.

C'est d'après ces changemens dans les masses de Vénus et de Mars, et ceux qu'ils doivent produire sur les variations séculaires des élémens de l'orbe terrestre, que M. Laplace a trouvé qu'au temps d'Hypparque l'année tropique étoit plus longue d'environ 13 secondes décimales qu'en 1750, et l'obliquité de l'écliptique plus grande de 2948 secondes décimales, et que le grand axe de l'orbe terrestre n'a dû coïncider avec la ligne des équinoxes que dans l'année 4089 avant notre ère, et lui a été perpendiculaire en 1248.

Quant à la masse de la lune, celle qui lui paroît la plus vraisemblable, et s'accorder le mieux avec les divers phénomènes astronomiques est $\frac{1}{68}$ de celle de la terre.

---

(2) Masse de Vénus déduite de la diminution séculaire de l'obliquité de l'écliptique.. $\frac{1}{383137}$.

Masse de Vénus déduite du *maximum* de son action sur le mouvement de la terre.. $\frac{1}{356632}$.

(2) Masse de Mars déduite de l'hypothèse des densités réciproquement proportionnelles aux moyennes distances des planètes au soleil......... $\frac{1}{1846082}$.

Masse de Mars déduite du *maximum* de son action sur le mouvement de la terre.. $\frac{1}{2546320}$.

MOUVEMENS DE LA LUNE.

M. Laplace passe ensuite à la Théorie des inégalités lunaires qui renferme, dit-il, des difficultés qui lui sont propres, et dont la principale dépend du peu de convergence des séries qui les donnent.

Vers la fin du dix-septième siècle, cette Théorie ne fut qu'ébauchée par Newton, pressé d'enchaîner les principaux phénomènes célestes à la loi générale qu'il venoit de découvrir. Vers le milieu du siècle dernier, elle reçut des accroissemens considérables par les travaux de Mayer et la solution du problème des trois corps, donnée en même temps par Euler, Clairaut et d'Alembert. Elle a été enfin reprise et perfectionnée de nouveau par M. Laplace, et les progrès qu'elle a faits entre ses mains, sont un des plus importans services dont l'Astronomie soit redevable à cet illustre géomètre.

En examinant les inégalités du mouvement lunaire, l'objet qu'il s'est proposé est d'en montrer la source dans la seule loi de la pesanteur, et de se servir ensuite de cette loi comme moyen de découvertes. Il en a donc d'abord supposé l'existence, et construisant sur cette hypothèse tout l'édifice de sa Théorie, il a pensé qu'elle devoit être d'accord avec l'observation, si la loi supposée étoit celle de la nature.

Après avoir satisfait exactement à toutes les conditions que pouvoit exiger une Théorie aussi compliquée dans le choix des coordonnées, dans l'ordre des approximations, l'exactitude et la vérification répétée des calculs, il a comparé les coëfficiens de ses formules avec ceux des tables lunaires de Mason et de M. Burg, les premières fondées sur 1137 observations de Bradley; les secondes

sur plus de 3000 observations de M. Maskelyne. Il a eu la satisfaction de voir que la plus grande différence entre les coëfficiens de sa Théorie et ceux des tables de Mason, n'est à l'égard du mouvement en longitude, que de 30 secondes décimales, qu'elle n'est que de 26 secondes entre sa Théorie et les tables de M. Burg, de 6 secondes seulement à l'égard du mouvement en latitude, et qu'enfin les résultats obtenus par l'analyse, tant sur les inégalités de la parallaxe que sur les mouvemens du périgée et des nœuds de l'orbe lunaire, diffèrent à peine de ceux de l'observation. C'est ainsi qu'il a porté la gravitation universelle au plus haut degré d'évidence par les mouvemens de notre satellite, et l'a présentée en même temps comme la cause unique de toutes ses inégalités.

Elle est encore devenue pour lui un grand moyen de découvertes : c'est par la loi de la pesanteur qu'il a vu se développer dans les variations séculaires de l'excentricité de l'orbe terrestre la cause de l'accélération apparente du mouvement de la lune et du ralentissement des moyens mouvemens de son périgée et de ses nœuds, qu'il a démêlé dans quelques dérangemens qu'elle éprouve par l'action du soleil, cette inégalité à longue période, sans laquelle l'époque de ses tables n'auroit jamais été fixée que d'une manière incertaine. C'est par la même loi qu'il a trouvé sa parallaxe dans la combinaison de la mesure des degrés terrestres avec la longueur du pendule à secondes et les phénomènes des marées, qu'il a déduit celle (1) du soleil de l'une des inégalités lunaires, telle

---

(1) La parallaxe du soleil déduite par M. Laplace de l'inégalité périodique du mouvement lunaire en longitude, qui dépend de la simple distance angulaire de la lune au soleil est de 26",4205 décimales ou de 8",5602 sexagé-

à

à peu près que l'a donnée le dernier passage de Vénus sur cet astre C'est enfin par la même loi qu'il a conclu l'aplatissement de la terre des inégalités dépendantes de sa non-sphéricité.

Il est beau de voir le géomètre livré à l'étude des phénomènes de la nature, trouver, sans sortir du sein de sa retraite, les valeurs de certains élémens de la physique céleste, dont la détermination coûte souvent aux observateurs les plus longs voyages et les plus rudes fatigues; il est intéressant pour l'esprit humain d'arriver au même but par des routes très-différentes.

MOUVEMENS DES SATELLITES

DE JUPITER, DE SATURNE ET D'URANUS.

Après le satellite unique de la terre, dont l'auteur de la Mécanique céleste a si fort étendu et perfectionné la théorie, les satellites des autres planètes, et principalement ceux de Jupiter fixent son attention; il considère le système de ces corps comme le système planétaire dont ils présentent l'image, et fait sortir de son analyse diverses inégalités peu différentes de celles des planètes et de la lune. Il envisage d'abord, comme leurs sources principales les actions réciproques des satellites, l'attraction du soleil, la forme aplatie de Jupiter, et c'est d'après ce point de vue général, qu'il établit les équations diffé-

simales. Elle est à 0,001 près la même que celle qui résulte de la comparaison de l'observation du dernier passage de Vénus faite dans la Californie avec celle de la baie d'Hudson. Elle donne pour la distance de la terre au soleil environ 34,585,000 lieues.

rentielles, dont l'intégration doit en donner le développement.

Dans les lois qui lient ensemble les trois premiers satellites, il découvre plusieurs inégalités considérables dont l'influence se répand sur toute la théorie de ces astres, et dont les périodes inégales entre elles sont enveloppées dans une période commune (1) de 437^{jours},659.

Parmi les inégalités produites par l'action du soleil, il en distingue trois remarquables par leur analogie avec les grandes équations connues dans la théorie de la lune, sous les noms de *variation*, d'*évection* et d'*équation annuelle*.

Dans les inégalités du mouvement des satellites en latitude, il remarque un effet de la forme aplatie de Jupiter, analogue à celui que produit sur la lune l'ellipticité de la terre, effet d'autant plus sensible que l'aplatissement de Jupiter est plus grand que celui du sphéroïde terrestre. Il trouve encore dans les mouvemens des satellites plusieurs inégalités qui paroissent avoir quelques rapports avec celles de la lune, entre autres leurs équations séculaires, dont il attribue la cause aux variations de l'équateur et de l'orbite de Jupiter. Il poursuit plus loin l'analogie, et trouve que si, comme les observations paroissent l'indiquer, les mouvemens de rotation des satellites sont égaux à ceux de révolution, ces mouvemens doivent participer à leurs équations séculaires en vertu de l'action de Jupiter, de la même manière que

(1) Ces inégalités se rétablissent lorsque les trois premiers satellites reviennent aux mêmes configurations; ce qui n'arrive qu'après 437^{j},659; car suivant les observations, 247 révolutions du premier, 123 du second, 61 du troisième, embrassent à très-peu près cet espace de temps.

le mouvement de rotation de la lune participe à son équation séculaire en vertu de l'action de la terre.

C'est ainsi qu'en rapprochant des phénomènes qui se ressemblent, en ramenant aux mêmes causes les effets qui leur correspondent, on peut souvent découvrir dans le système du Monde des vérités très-importantes, surtout lorsqu'en se livrant à ces sortes de recherches, on tient dans sa main l'instrument de l'analyse ou le compas de la Géométrie.

Après ses recherches générales sur les équations du mouvement des satellites, M. Laplace déduit de la comparaison de ses formules avec les observations, les élémens des orbes de chaque satellite. Cette comparaison lui démontre que ces orbes ne se meuvent point, comme l'avoient d'abord supposé les astronomes, sur l'équateur de Jupiter, mais sur des plans divers qui lui sont d'autant plus inclinés (1) que les satellites sont plus éloignés de la planète; que l'inclinaison de l'orbe du premier à son plan fixe est insensible; que les nœuds des orbes des trois derniers ont sur leurs plans fixes des mouvemens rétrogrades dont les périodes (2) sont différentes; que les orbes des deux premiers satellites n'ont point d'excentricité qui leur soit propre, mais qu'ils participent un peu des excentricités des orbes du troisième et du quatrième; que celle de l'orbe du troisième présente des anomalies sin-

(1) Les orbes des trois derniers satellites sont inclinés à leurs plans fixes respectifs, savoir : celui du second de 5152″ décimales, celui du troisième de 2284″, celui du quatrième de 2772″. L'inclinaison du plan fixe du premier sur l'équateur de Jupiter, n'est que de 20″, celle du plan fixe du second de 201″, du troisième de 931″, du quatrième de 4547″.

(2) Ces périodes sont pour le second satellite de 29ans,9142, pour le troisième de 141ans,739, pour le quatrième de 531 ans.

gulières qui dépendent de deux équations du centre très-distinctes, dont l'une, propre à cet orbe, se rapporte à son périjove, et dont l'autre se rapporte au périjove du quatrième, dont l'excentricité qui se répand sur les trois autres, mais plus foiblement à mesure qu'ils en sont plus éloignés, est beaucoup plus grande que celle des autres orbites. C'est dans cette chaîne qui lie ensemble les différens corps du système de Jupiter, dans ces diverses combinaisons qui résultent de leur action mutuelle, et dont la découverte est due à la théorie de la pesanteur, que l'observateur peut reconnoître la grandeur des moyens de la Nature, qui, toujours simple dans la cause, n'est compliquée que dans les effets.

L'un des objets de la théorie des satellites qui paroissoit inaccessible au calcul, est la détermination de leurs masses; elles ne pouvoient être évaluées ni par les diamètres de ces astres, dont la petitesse échappe à nos mesures, ni par les variations séculaires de leurs orbites, dont la connoissance est encore très-imparfaite. M. Laplace trouve les valeurs de leurs masses dans le développement de leurs inégalités, et dans ces valeurs l'aplatissement (1) de Jupiter avec plus de précision que dans les mesures directes.

Il porte enfin son attention sur la durée des éclipses des satellites; il en cherche l'expression, et pour l'obtenir, il détermine d'abord généralement l'ombre projetée par un corps opaque de figure quelconque, passe ensuite de celle de Jupiter supposé sphérique, à celle de Jupiter

(1) Le rapport des deux axes de Jupiter qui résulte des valeurs des masses de ses satellites, est de 0,9287. Il est à très-peu près le même que celui de treize à quatorze que donnent les mesures directes.

aplati vers ses pôles. Il fait une application de ses formules, et le calcul lui donne dans la durée des éclipses, des résultats qui surpassent (1) ceux des observations; mais il trouve dans la durée des éclipses observées, plusieurs causes d'incertitude qu'il est impossible d'évaluer, telles que l'étendue réelle, quoiqu'inappréciable, des disques des satellites qui disparoissent avant que d'être entièrement plongés dans l'ombre de la planète, leurs diverses grandeurs peu connues, leur aptitude plus ou moins grande à réfléchir la lumière, les effets de la pénombre et de la réfraction qu'éprouvent les rayons solaires dans l'atmosphère de Jupiter. Il présente donc, comme un moyen de répandre un grand jour sur toute la théorie des satellites, les observations de leurs passages sur le disque de Jupiter. Les contacts intérieurs des ombres lui paroissent plus propres que les éclipses à déterminer l'instant précis de la conjonction. Ce genre d'observation déjà tenté par Dominique Cassini, M. Messier et d'autres observateurs, mérite de fixer l'attention des astronomes, et le nom du savant qui le propose est un puissant motif pour les engager à de nouvelles tentatives sur cet important objet.

Les satellites de Jupiter avoient déjà, comme celui de la terre, exercé toutes les forces de l'analyse. Bailly avoit

---

(1)

	Demi-durées des éclipses calculées.	Demi-durées observées.
I. Sat.	4945″,87.	4713″.
II. Sat.	6205″,93.	5976″.
III. Sat.	7801″,30.	7419″.
IV. Sat.	10271″,64.	9890″.

Mécanique céleste, tome 4, page 171.

essayé de déterminer leurs masses, les variations de leurs inclinaisons et le mouvement libratoire de leurs nœuds. M. Lagrange avoit déjà traité, dans son Mémoire couronné par l'Académie des sciences de Paris en 1766, la question de leur action mutuelle. M. Laplace a repris leur théorie dans toute son étendue, et l'a portée, comme celle de la lune, au plus haut degré de perfection. Les tables les plus exactes de leurs mouvemens étoient le but principal de ses recherches. Deux astronomes infatigables ont secondé ses vues; M. Bouvard a réduit en nombres les coëfficiens de ses formules; M. Delambre a fondé sur la discussion d'un très-grand nombre d'éclipses les valeurs des élémens de chaque satellite, et, d'après ses immenses calculs, il a construit des tables dont l'exactitude égale celle des observations mêmes.

M. Laplace ne s'attache point à considérer les perturbations des satellites de Saturne, dont on connoît à peine les révolutions et les distances moyennes. Il examine seulement la position de leurs orbes, l'action de la planète qui retient les six premiers dans le plan de son équateur, l'action du soleil, qui tend à les écarter tous de ce plan, mais qui n'en écarte sensiblement que le septième.

Les satellites d'Uranus, observés jusqu'ici seulement par MM. Herschel et Schroëter, présentent encore moins de données à ses recherches. Il ne s'occupe que de leur mouvement sur un plan presque perpendiculaire à celui de l'orbite de la planète, reconnu par le premier de ces deux observateurs, et supposant une position semblable dans le plan de son équateur, il démontre que l'ellipticité de la planète combinée avec l'action des satellites, peut maintenir à très-peu près dans ce plan les orbes qu'ils décrivent.

MOUVEMENS DES COMÈTES.

Les comètes qui passent si près du soleil, et qui s'en éloignent à de si grandes distances, sont sujettes dans leurs courses lointaines aux plus grandes altérations dans leurs élémens, et ces altérations sont telles, que leurs orbites peuvent être totalement changées. Les moyens employés pour calculer celles des planètes et des satellites, ne sont point applicables à des astres dont les orbites sont très-excentriques et fort inclinées à l'écliptique. Il n'est pas possible dans l'état actuel de l'analyse, dit M. Laplace, d'exprimer leurs perturbations par des formules analytiques qui embrassent, comme celles des planètes, un nombre indéfini de révolutions. C'est par une route différente et par des repos de distance en distance, c'est en parcourant de petites portions de l'orbite de la comète, en corrigeant à chaque pas ses élémens elliptiques des altérations qu'ils éprouvent, que l'on parvient à les déterminer. Tel est l'esprit de la méthode des quadratures mécaniques, employée par M. Lagrange, suivie et tellement développée par M. Laplace, qu'elle ne laisse aux astronomes que l'embarras des substitutions numériques.

Dans le cas singulier d'une comète que son passage trop voisin d'une planète, éloigneroit de sa route accoutumée, quelles doivent être les altérations de ses élémens? pour résoudre cette question, à laquelle a donné lieu la première comète de 1770, découverte par M. Messier, M. Laplace suppose que la comète est située entre la planète et le soleil, qu'elle passe dans la sphère d'activité de la planète, que son mouvement relatif n'est soumis

qu'à son action, et qu'au-delà de cette sphère, son mouvement absolu n'est soumis qu'à l'action du soleil. Il développe ensuite les moyens de calculer les nouveaux élémens de l'orbite de la comète au sortir de la sphère d'activité de la planète, et propose les formules du mouvement elliptique qui doivent faire connaître le temps employé par la comète à traverser cette sphère.

L'apparition de la comète de 1770 paroissoit inexplicable; elle n'avoit point été observée avant cette époque et n'a point été revue depuis, et cependant toutes ses observations étoient représentées dans une ellipse correspondante à une révolution d'environ cinq ans et demi, ainsi que l'ont reconnu Lexell et M. Burckhardt, dans sa pièce couronnée par l'Institut en 1800. Lexell expliquoit son apparition d'une manière très-vraisemblable. Suivant cet astronome, l'attraction de Jupiter, fort près duquel elle avoit passé en 1767 et 1779, l'avoit rapprochée du soleil à la première époque, de manière à la rendre visible à la terre, d'invisible qu'elle étoit auparavant, et l'en avoit éloignée à la seconde, de manière à la faire rentrer dans sa route primitive. Les formules de M. Laplace, appliquées par M. Burckhardt aux perturbations de la comète aux deux époques de 1767 et 1779, ont donné à l'explication de Lexell une nouvelle force. Elles ont prouvé que l'action de Jupiter a pu produire le changement de sa distance périhélie, ou le double phénomène de son apparition passagère et de son éternelle disparition.

Une autre question déjà plusieurs fois agitée parmi les astronomes, et devenue aussi quelquefois un sujet d'alarmes, est celle de l'influence des comètes sur le système planétaire. Est-il à craindre que la course vagabonde

bonde de ces astres en altère un jour les mouvemens? De toutes les comètes observées jusqu'ici, aucune n'a plus approché de la terre que celle de 1770; cependant elle en étoit, dans sa plus grande proximité, suivant les calculs de Duséjour, à la distance de 750 mille lieues. M. Laplace a trouvé que l'action de la terre sur elle a diminué d'environ deux jours la durée de sa révolution sidérale, et qu'en supposant à la comète une masse égale à celle de la terre, sa réaction auroit pareillement diminué l'année sidérale de la neuvième partie d'un jour; mais observant que, d'après les recherches faites par M. Delambre pour la construction de ses nouvelles Tables du soleil, il est bien constaté que la comète de 1770 n'a pas altéré cette durée de 3 secondes, il en a conclu que sa masse n'est pas la cinq millième partie de celle de la terre. Les comètes en général ne paroissent avoir sur les autres corps du système planétaire qu'une influence insensible. Leur marche errante dans tous les sens n'en trouble point l'harmonie, et l'on peut croire que ces astres qui n'annoncèrent si souvent à l'ignorance que des présages sinistres, n'ont pas reçu de la nature la puissance de nuire.

ARTICLE V.

AUTRES RÉSULTATS PARTICULIERS
DE LA GRAVITATION UNIVERSELLE
DANS DIFFÉRENS POINTS RELATIFS AU SYSTÈME DU MONDE.

Avant que d'arriver au terme de la longue carrière qu'il s'étoit proposé de parcourir, M. Laplace tourne encore ses regards vers quelques objets isolés qu'il

n'avoit point liés au plan général de son ouvrage; il les embrasse ici dans un article séparé, sous le titre de *différens points relatifs au système du Monde.*

L'un de ceux qui doivent le plus intéresser l'observateur, est la réfraction de la lumière qui s'opère autour de nous, dans l'air qui nous environne et nous empêche de voir les astres dans leur véritable position. C'est pour les y ramener qu'il est important de bien connoître les lois suivant lesquelles les rayons lumineux se brisent dans notre atmosphère. Les astronomes, forcés maintenant de s'élever jusqu'à la précision marquée par la théorie, ont besoin d'une précision correspondante dans le calcul des effets de la réfraction.

Déjà ce phénomène avoit été examiné dans différentes températures, dans des climats différens, à différentes élévations au-dessus de la surface de la terre; déjà les travaux de Bouguer, Lacaille, Mayer et Bradley en avoient beaucoup avancé la Théorie. M. Laplace, appuyé de toutes les ressources de l'analyse, l'a considéré de nouveau dans ses rapports avec la pesanteur universelle. Il examine la route que doit suivre la lumière dans les airs, d'après les attractions successives exercées sur ses molécules par les différentes couches de l'atmosphère qu'elles traversent. Il donne l'équation différentielle de son mouvement, dans laquelle il suppose, conformément aux expériences de Hauksbée, que les forces réfractives des couches de l'atmosphère sont proportionnelles aux densités de ces couches.

Mais l'ignorance où nous sommes de la loi suivant laquelle diminue leur densité à mesure que l'on s'élève au-dessus du niveau des mers, lui présente un grand

obstacle à vaincre, pour trouver à l'horizon des réfractions conformes à celles qui résultent des observations. Il lutte contre cette difficulté au moyen de diverses hypothèses qui le rapprochent de plus en plus de la véritable constitution de l'atmosphère, qu'il renferme bientôt entre les deux limites d'une densité décroissante en progression géométrique et d'une densité décroissante en progression arithmétique pour des hauteurs dont les accroissemens sont égaux.

Il examine successivement chacune des deux hypothèses. L'examen de la seconde lui fait voir que la loi de la chaleur est la même que celle des réfractions, que la chaleur des couches atmosphériques diminue comme leur densité, en progression arithmétique; qu'il faut s'élever de 63,mèt.8, pour éprouver une diminution de $\frac{1}{250}$ dans la force élastique de l'air toujours proportionnelle à la chaleur qui la produit, diminution à très-peu près correspondante à celle d'un degré dans le thermomètre centigrade; mais il observe que toutes les expériences s'accordent à prouver que cette élévation est trop petite, que la diminution de la chaleur est moins rapide. Il adopte donc, pour représenter à la fois les réfractions et la diminution observée dans la chaleur des couches atmosphériques, une hypothèse composée des deux progressions précédentes. Cette hypothèse lui donne pour une élévation de 6909mèt.,44, une diminution de chaleur de 46°,24 de la division centigrade, résultat que l'on peut regarder comme très-approché de celui de l'expérience (1), si l'on

(1) M. Gay-Lussac physicien très-connu par un grand nombre d'expériences utiles et curieuses, s'étant élevé de Paris dans un ballon à la hauteur

considère la nature mobile et variable de l'atmosphère. C'est en conséquence de celle qu'il lui suppose, qu'il détermine le rapport des réfractions horizontales au niveau de la mer et à une certaine élévation au-dessus de ce niveau, et la réfraction d'un astre vu au-dessous de l'horizon.

Cette théorie profonde dans laquelle l'auteur de la Mécanique céleste déploie une admirable sagacité tant dans le choix des hypothèses que dans la manière de les comparer avec l'expérience, et de les en rapprocher, a donné les moyens de construire une nouvelle table de réfractions plus exacte que celle dont on faisoit usage; mais comme les variations infinies des couches atmosphériques, laissent beaucoup d'incertitude sur les réfractions près de l'horizon, M. Laplace avoit besoin de considérer les réfractions sur lesquelles peuvent compter les astronomes, c'est-à-dire, celles qui ne dépendent que de l'état de l'air dans le lieu de l'observateur, ou qui correspondent à des hauteurs apparentes plus grandes que douze degrés décimaux : il en donne pour ces hauteurs une expression générale, indépendante de toute hypothèse sur la constitution de l'atmosphère. Il établit les fondemens de sa formule sur les variations de la densité de l'air produites par les variations de sa pression et de sa chaleur, sur la réfraction de l'air atmosphérique à une température et à une pression déterminées. Il trouve les changemens de la densité de l'air, produits par les variations de la pression qu'il éprouve dans la loi, suivant laquelle, à température égale, sa densité est

---

de 6980 mètres au-dessus du niveau de la Seine, a trouvé pour cette élévation une diminution de chaleur de 40°, 25, suivant la division centigrade.

Mécanique céleste, tome 4, page 265.

proportionnelle à sa pression. Relativement aux quantités qui représentent la dilatation de l'air par la chaleur, il adopte le résultat moyen (1) de vingt-cinq expériences faites avec beaucoup de soin par M. Gay-Lussac, et pour la réfraction de l'air à une température et à une pression déterminées, celui (2) qu'à trouvé M. Delambre pour le 50e degré décimal de hauteur apparente, au moyen de la comparaison d'un grand nombre d'observations de la plus grande et de la plus petite hauteur des étoiles circompolaires.

D'autres questions intéressantes dépendent également de la nature du fluide qui nous environne. Aux réfractions astronomiques sont liées celles dont les objets terrestres sont affectés dans l'intervalle qui les sépare de l'œil de l'observateur, l'extinction de la lumière des astres dans son passage à travers l'atmosphère terrestre, et la mesure des hauteurs par le baromètre. M. Laplace lie aussi dans sa Théorie ces diverses questions, en les assujettissant toutes à la loi suivant laquelle diminue la densité des couches atmosphériques. En partant de cette loi, il arrive par des simplifications dues à la petitesse des réfractions terrestres, à des expressions très-concises de leurs valeurs. Il détermine l'extinction de la lumière des astres dans l'atmosphère pour les différentes inclinaisons du rayon lumineux à l'horizon, et conclut de la comparaison de

---

(1) Il résulte des expériences de M. Gay-Lussac, qu'un volume d'air représenté par l'unité au degré de la glace fondante, devient 1,375 à la chaleur de l'eau bouillante, sous une pression mesurée par la hauteur 0met., 76.

Mécanique céleste, *tome* 4, *page* 270.

(2) M. Delambre a trouvé pour le 50e degré décimal de hauteur apparente, la température étant zéro et la hauteur du baromètre étant 0met., 76, la réfraction égale à 187", 087 décimales ou 60", 616 de la division sexagésimale.

ses formules avec plusieurs expériences curieuses faites par Bouguer (1) sur l'intensité de la lumière du soleil dans divers points de son disque, que cet astre dépouillé de son atmosphère paroîtroit douze fois plus lumineux.

Pour mesurer les hauteurs par le baromètre, il donne une formule très-simple, dans laquelle il fait entrer les corrections que demandent les variations de la pesanteur, dépendantes de la différence des latitudes et des élévations au-dessus du niveau des mers, et dont M. Ramond a déterminé le coëfficient par un grand nombre d'observations très-exactes faites sur plusieurs montagnes dont les hauteurs sont connues.

Il attire ensuite l'attention des astronomes vers un objet digne d'exciter leur curiosité; c'est une preuve directe de la rotation de la terre, qu'il déduit de la chute des corps qui tombent d'une grande hauteur. Il démontre que la déviation de ces corps en tombant est nulle dans le sens du méridien, qu'elle n'est sensible que dans le sens du parallèle à l'Orient de la verticale, et que si le corps est lancé de bas en haut, il retombe à l'Occident, résultats conformes à plusieurs expériences faites en Italie et en Allemagne (1).

---

(1) Suivant les expériences de Bouguer, la lumière du disque solaire est moins intense vers les bords qu'à son centre. A une distance des bords égale au quart du diamètre, il a trouvé l'intensité de la lumière plus petite qu'au centre dans le rapport de 35 à 48.

Mécanique céleste, tome 4, page 284.

(2) Des expériences sur la chute des corps ont été faites à Bologne par M. Guglielmini, sur une tour haute de 247 pieds, et à Hambourg par M. Henzenberg, sur un clocher élevé de 235 pieds. Ces deux savans ont trouvé la déviation des corps sensible à l'Orient de la verticale, le premier, de huit lignes et demie, et le second, de quatre. Des expériences de cette nature sont très-difficiles à faire et ne peuvent avoir beaucoup d'accord entre elles.

Bibliographie Astronomique, pages 789 et 873.

Il présente aussi à la curiosité des géomètres une circonstance singulière où le problème des trois corps auroit été susceptible d'une solution rigoureuse; c'est celle où le soleil, la terre et la lune auroient été dans l'origine placés sur la même ligne droite; de manière que la distance de la lune à la terre eût été la centième partie du rayon de l'orbe terrestre, et qu'elles eussent reçu des vîtesses parallèles et proportionnelles à leurs distances au soleil. Dans cet état de choses, le soleil et la lune n'auroient jamais été éclipsés; ces deux astres se seroient succédés sans cesse l'un à l'autre sur l'horizon, et la terre n'auroit jamais été privée simultanément de leur lumière. Mais la nature n'a pas permis cette perfection idéale, l'ouvrage de la géométrie, et pour la compenser, elle nous a réservé le spectacle périodique des phases lunaires et les événemens souvent utiles des éclipses; elle nous a réservé le plaisir de voir notre satellite plus près, et sous une apparence plus grande, briller dans la nuit d'une lumière plus éclatante (1).

Enfin M. Laplace recherche et détermine pour un temps illimité les altérations que peuvent éprouver les corps célestes par les résistances du fluide éthéré qu'ils traversent. Il trouve au moyen des expressions générales qui renferment en elles les variations des élémens des orbites, que ces résistances diminuent le grand axe et l'excentricité, mais qu'elles laissent le périhélie immobile. Il en conclut encore que les orbites peu excentriques

---

(1) Si la distance de la lune à la terre eût été la centième partie du rayon de l'orbe terrestre, elle en auroit été environ quatre fois plus éloignée, son diamètre apparent auroit été quatre fois plus petit, et l'intensité de sa lumière seize fois moindre.

des planètes deviennent de plus en plus circulaires, en même temps que la résistance du fluide les rapproche de plus en plus du soleil.

Tels sont les effets que lui présente l'analyse sur les altérations qu'éprouvent les corps célestes par la résistance de la lumière solaire dans laquelle ils se meuvent, si cette lumière consiste dans les vibrations d'un fluide élastique; mais en supposant qu'elle soit une émanation du soleil, il trouve également, au moyen de quelques légères modifications, l'expression analytique de l'accélération produite par son impulsion sur les mouvemens des planètes. Il cherche ensuite les effets de cette impulsion sur les équations séculaires de la terre et de la lune, et trouve qu'elles sont entre elles comme l'unité est à 63,169.

Mais il observe que si la lumière est une émanation du soleil, la masse de cet astre, et par conséquent sa force attractive, doivent sans cesse diminuer, les orbes des planètes se dilater de plus en plus, et leurs mouvemens se ralentir beaucoup plus qu'ils ne s'accélèrent par l'impulsion de la lumière, que leur accélération n'est pas même la cinq millième (1) partie de leur ralentissement. Il conclut des rapports précédens et des observations faites sur l'équation de l'orbe terrestre qui n'est pas de 18 secondes décimales, que l'impulsion de la lumière du soleil

(1) Suivant les calculs de M. Laplace, l'équation séculaire due à la diminution de la masse du soleil est à l'équation séculaire due à l'impulsion de la lumière, comme — 1 est à 0,00021 29. Les deux équations doivent être de signes contraires. Si l'accélération est en plus, le ralentissement doit être en moins

Mécanique céleste, tome 4, page 324.

soleil sur la lune n'influe pas d'un quart de seconde sur son équation séculaire, et d'une expression analytique très-simple, que le soleil depuis deux mille ans n'a pas perdu la deux millionième partie de sa subsistance (1)

Il applique les résultats de la même théorie à la gravitation considérée comme produite par l'impulsion d'un fluide mû avec une extrême rapidité vers le centre du corps attirant. Il trouve dans le terme même qui représente l'équation séculaire du corps attiré, que cette équation est d'autant moindre que la transmission de la gravité est plus rapide, que si l'équation séculaire de la lune étoit entièrement produite par cette cause, la vîtesse du fluide gravifique devroit être environ sept millions de fois plus grande que celle de la lumière; mais considérant, d'après la certitude acquise par l'évidence des preuves qu'il en a données, qu'elle ne peut être attribuée presque en totalité qu'aux variations de l'excentricité de l'orbe terrestre, que si quelque portion en est due à la transmission successive de la gravité, cette portion ne pouvant être que d'une extrême petitesse, elle suppose au fluide gravifique une vîtesse au moins cent millions de fois plus grande que celle de la lumière; il en conclut qu'elle peut être regardée comme infinie, et l'influence produite par l'impulsion de la gravité sur les mouvemens des planètes et des comètes comme insensible.

---

(1) Dans la supposition d'une émission toujours égale de matière lumineuse, le diamètre du soleil, en cinquante mille ans, ne diminueroit pas d'une seconde, diminution à peine sensible par les observations les plus précises.

L'auteur de la Mécanique céleste ne pouvoit couronner son ouvrage par des objets plus dignes d'exciter un grand intérêt; c'est l'air, c'est la lumière, c'est le fluide plus subtil encore de la gravitation, dont il s'empare par le calcul et détermine les effets. Ce ne sont point ici les rêves d'une imagination qui s'abandonne aux illusions faciles de la Métaphysique, guide souvent trompeur, lorsqu'il n'est pas arrêté dans ses écarts par la sagesse et la sévérité de la Géométrie; ce sont les résultats profonds et positifs de l'analyse, sans laquelle toutes les combinaisons sur les lois physiques de l'univers ne peuvent être mises qu'au rang des idées systématiques.

C'est ainsi que M. Laplace a mis la dernière main au grand édifice commencé par Newton; il a terminé l'ouvrage d'un siècle entier, fécond en grandes découvertes; il a mis en œuvre les matériaux fournis par ses prédécesseurs et ceux qu'il avoit préparés lui-même pendant près de trente ans. Il les a fait tous entrer dans un même plan, et leur a donné la forme convenable pour conserver toujours l'unité de caractère et de dessein qu'il avoit en vue dans son ouvrage. Il a souvent développé, perfectionné des théories qui n'étoient qu'indiquées. Il a presque toujours accompagné des vérités déjà connues et démontrées, de recherches entièrement neuves; souvent il a simplifié les méthodes d'analyse, quelquefois il les a multipliées pour arriver aux mêmes résultats et les confirmer de plus en plus. Il a rendu compte de tous les phénomènes connus, en a fait entrevoir d'autres que l'observation n'avoit pu découvrir, mais qu'elle a confirmés. Personne n'a porté plus loin l'art de les discuter, de les généraliser et de les faire sortir du fond

du sujet, autant par des hypothèses adroitement combinées, que par une habile application de toutes les ressources de l'analyse.

La Mécanique céleste considérée sous tous les rapports, est le plus beau monument qu'ait encore élevé la géométrie parvenue à son état actuel de perfection. Dépositaire des résultats les plus importans de la gravitation universelle, et des plus hautes spéculations sur la science des astres, elle peut être regardée comme un de ces ouvrages que l'esprit humain ne produit qu'avec peine à des époques éloignées, qu'il rappelle toujours dans ses fastes avec orgueil, et qui forment par intervalle de grandes masses de lumière dans la nuit des erreurs dont il est sans cesse assiégé.

Si le mérite d'un tel ouvrage fait la gloire de l'esprit humain, il doit honorer plus particulièrement la nation qui l'a vu naître; elle doit en recevoir d'autant plus d'illustration que son chef sait mieux apprécier par lui-même ces rares productions du génie et les distinguer par d'illustres récompenses.

Les sciences jouissent en France d'un bonheur qu'elles n'avoient pas encore obtenu. La langue de Descartes et de Newton n'est point étrangère au Souverain qui la gouverne; il a pris place dans les rangs du premier corps savant de l'Europe, dont il est devenu le protecteur. Il en eût été la gloire par ses lumières, si de plus hautes destinées ne lui eussent été réservées. Qui pouvoit mieux récompenser les savans que celui qui fut à portée de les connoître, et qui sait parler leur langage? Jamais peut-être ils n'ont reçu de plus nobles prix de leurs travaux. La plupart sont appelés à des postes honorables; plusieurs

même siégent aujourd'hui dans le Sénat, où l'auteur de la Mécanique céleste occupe un rang distingué parmi les membres de ce Corps illustre.

Ce témoignage éclatant d'une grande considération qui lui est accordée par le héros du siècle, la renommée qu'il s'est acquise par ses nombreuses découvertes, l'opinion générale qui dans l'Europe entière ne lui donne qu'un seul géomètre pour rival, celle des plus grands astronomes, qui le regardent comme leur oracle et leur guide, me laissent l'intime conviction que les éloges que j'ai donnés à l'ouvrage célèbre dont je viens de parler, ne font que prévenir en partie ceux de la postérité et ne s'écartent en rien du caractère juste et sévère de l'histoire.

D'après ce que nous venons d'exposer sur les découvertes faites par la Théorie depuis 1781, nous voyons qu'elles sont presque entièrement dues aux travaux des deux grands géomètres (1) que nous possédons ; c'est par eux principalement que la Physique céleste a pris depuis *trente ans un nouvel essor.* Ils ont trouvé l'un et l'autre les plus grands moyens d'approfondir ses lois, dans la mécanique qu'ils ont étendue et simplifiée, dans l'analyse qui n'a jamais été aussi puissante que dans leurs

---

(1) Si l'opinion publique ne s'étoit déjà depuis longtemps prononcée sur les deux grands géomètres dont il est ici question, nous pourrions citer à l'appui de tout ce que nous avons avancé sur leurs ouvrages, la décision unanime de l'Institut qui, conformément à celle du jury institué pour le jugement des prix décennaux, vient de décerner le grand prix d'analyse pure au *Calcul des Fonctions* de M. Lagrange, et le grand prix des Sciences soumises aux calculs rigoureux, à la *Mécanique céleste* de M. Laplace.

mains, dans la connoissance exacte du système du monde qu'ils ont examiné dans son ensemble et dans ses diverses parties. Ils ont continué Newton et perfectionné sa doctrine. L'avenir leur accordera, dans les sciences, et son rang et sa gloire. Ils ont, comme lui, dévoilé les causes de plusieurs phénomènes. Ils ont rangé sous la loi générale de la gravitation ceux même qui paroissoient s'en écarter, et dans leurs plus profondes recherches, ils ont toujours ramené les mondes vers un état oscillatoire, effet toujours renaissant de leur action mutuelle et garant de leur conservation.

Les mouvemens elliptiques qui, du temps de Kepler, remplacèrent dans le ciel les mouvemens circulaires consacrés par les anciens, changèrent la face de l'Astronomie, ou plutôt la partagèrent en deux classes bien séparées dont chacune eut son caractère distinctif.

Bientôt on s'apperçut que les planètes et les satellites ne suivoient pas exactement une route elliptique. Newton et ses premiers successeurs rendirent raison de leurs principaux écarts, par les attractions mutuelles des différens corps d'un même système ; mais ces écarts dans leurs développemens périodiques n'embrassoient qu'un petit nombre d'années. Il s'en trouvoit beaucoup d'autres qui dans leurs accroissemens ne laissoient entrevoir aucun terme ou paroissoient se soustraire aux lois de la gravitation. Ils leur ont été pareillement assujettis par les derniers efforts de la Géométrie.

C'est par ces différens degrés que l'Astronomie, parmi les sciences humaines, s'est élevée au plus haut point de sa grandeur. Depuis le commencement du dix-septième siècle jusqu'à ce jour, elle présente trois époques remarquables : La première s'est illustrée par le nom de Kepler,

la seconde par celui de Newton, et la troisième par les brillantes découvertes des géomètres modernes et surtout par celles de MM. Lagrange et Laplace. Peut-être sommes-nous parvenus aux dernières approximations que l'on puisse obtenir dans les calculs des mouvemens célestes. Peut-être l'astronome n'a-t-il plus rien à desirer sur cet objet que ce qu'il doit attendre du temps, c'est-à-dire, des données plus exactes de l'observation.

HISTOIRE
DE L'ASTRONOMIE.

TROISIÈME PARTIE.

TRAVAUX ASTRONOMIQUES
EXÉCUTÉS DEPUIS 1781.

La science dont l'Univers est l'objet n'a point de bornes; elle peut occuper tous les talens et tous les esprits. Parmi les hommes qui consacrent leurs veilles à l'Astronomie, les uns s'occupent à chercher de nouveaux astres dans le ciel, d'autres à découvrir de nouvelles lois dans les mouvemens célestes; d'autres, enfin, se livrent à des travaux importans qui se lient aux découvertes des premiers, les favorisent ou servent à les compléter. Ils se composent des grandes opérations sur les mesures terrestres, dont l'exactitude sert à perfectionner la théorie de la figure de la terre essentiellement liée à tous les phénomènes célestes, de la formation des catalogues d'étoiles dont les positions bien déterminées sont nécessaires pour constater l'apparition des astres inconnus. Ils se composent enfin de la construction des Tables,

dont la précision est l'objet et le complément des découvertes de la Théorie. C'est par l'exposé succinct de ces différens travaux utiles pour la science, que je terminerai le tableau de ses progrès pendant la période que je me suis proposé de parcourir.

PREMIÈRE

PREMIÈRE SECTION.

MESURES TERRESTRES.

Dans l'Histoire de l'Astronomie, ce qui ne manque jamais d'exciter l'intérêt et la curiosité, c'est le récit des grandes opérations entreprises pour déterminer la figure et les dimensions du globe terrestre. Les travaux qu'elles entraînent, grands dans leur objet, importans dans leurs résultats, sont longs et difficiles; ils exigent le concours de la puissance et du savoir; mais ils font toujours la gloire des nations qui les exécutent.

Ceux qu'ont entrepris les Français pour la mesure de la terre, ne peuvent manquer de laisser des traces durables parmi les hommes: la postérité conservera long-temps le souvenir des degrés qu'ils ont mesurés vers l'équateur, au cercle polaire, et parmi les sables brûlans de l'Afrique, de ceux qu'ils ont mesurés en France, de cette longue méridienne qui la traverse dans toute son étendue, de cette chaîne immense de triangles qui couvre sa surface et sert à déterminer les positions de toutes ses parties avec la précision de la Géométrie. Les travaux de ce genre exécutés jadis par les Chaldéens et les Arabes, ne peuvent leur être comparés ni par leur grandeur ni par leur exactitude. En parcourant les dernières opérations faites sur la mesure de la terre, dans diverses parties du monde, nous pourrons reconnoître jusqu'à quel point les modernes les ont surpassés.

ARTICLE PREMIER.

Jonction des Observatoires de Paris et de Greenwich.

Après avoir exécuté les plus vastes entreprises sur les mesures terrestres, les Français ont encore appelé les nations étrangères à partager avec eux la gloire et les avantages qu'elles promettent. Lorsque les opérations relatives à la grande carte de France furent terminées, Cassini de Thury, petit-fils du célèbre Dominique Cassini, animé par les succès qu'elles avoient obtenus, porta ses vues au-delà des frontières; il conçut l'idée de lier par des chaînes de triangles, les autres contrées de l'Europe aux mesures géodésiques de la France, idée dont l'exécution n'auroit pu que contribuer à perfectionner la géographie. Elle fut proposée à plusieurs gouvernemens de l'Europe, froidement reçue par les uns, et rejetée par les autres.

Cependant une nation rivale de la France, chez laquelle les intérêts des sciences et des arts sont toujours justement appréciés, l'Angleterre, l'accueillit favorablement. Le mémoire dans lequel étoit développé le projet de Cassini de Thury, fut communiqué vers le commencement d'octobre 1783, par le comte d'Adhémar, ambassadeur de France, à Fox, l'un des secrétaires d'Etat, ensuite adressé, par ordre du roi, au chevalier Banks, président de la Société royale de Londres. Le projet présenté ayant reçu la sanction de cette Société célèbre, il fut décidé qu'une chaîne de triangles seroit formée depuis Londres jusqu'à Douvres; que cette chaîne pourroit s'étendre de l'un à l'autre rivage, et se joindre à celle de la méridienne de Paris.

Le but principal des opérations proposées par Cassini de Thury, étoit de joindre les deux Observatoires les plus célèbres de l'Europe, d'en déterminer les positions respectives, de manière à dissiper les incertitudes que l'on avoit encore à cet égard, et les rendre propres à se prêter des secours mutuels dans les observations sur la marche des corps célestes.

C'est à Paris, c'est à Greenwich que sont élevés les deux temples les plus chéris d'Uranie; c'est là que résident les observateurs du ciel les plus nombreux et les plus assidus; c'est sur leurs veilles que reposent ces Tables, ces Ephémérides qui servent de guides aux navigateurs dans leurs courses lointaines; c'est par eux que sont formés les registres les plus exacts des événemens célestes. Le projet d'établir, par la jonction des deux Observatoires, une correspondance habituelle dans leurs travaux, étoit digne des deux nations qui, depuis plus d'un siècle, ont le plus contribué aux progrès de l'Astronomie.

Le major-général Roy, auquel furent adjoints plusieurs habiles coopérateurs, fut chargé de la direction des travaux qui devoient être exécutés depuis Londres jusqu'à Douvres. Cet officier distingué par son mérite, s'étoit fait connoître par des talens marqués dans les opérations géodésiques. Pendant les années qui précédèrent la guerre de 1755, il avoit eu la plus grande part à la levée de la carte géographique de l'Ecosse, faite sous les auspices du duc de Cumberland; il devoit présider à la confection de la carte générale des îles Britanniques, si ce projet n'eût été tout-à-coup arrêté par la guerre d'Amérique. Ses vues s'étant portées depuis quarante ans vers des travaux de ce genre, il étoit regardé comme l'un des hommes les plus capables de diriger les opérations projetées.

2.

Son premier soin fut de choisir la base sur laquelle repose toute opération trigonométrique. La nature lui présenta, pour la placer, la situation la plus commode qu'il eût à desirer; c'étoit la plaine d'Houslonwheat (1), située dans la province de Midlesex, à quatorze milles de Londres, remarquable par son étendue et par une surface extrêmement unie. Il la parcourut, assisté par le chevalier Banks, Cavendish et le docteur Blagden, qui devint peu après l'un de ses plus utiles coopérateurs. Bientôt la direction et les deux extrémités de la base furent déterminées.

Après toutes les précautions préliminaires, sa mesure fut commencée vers le milieu de juin 1784, et terminée à la fin du mois d'août. Rien ne fut négligé pour rendre sa détermination aussi exacte que pouvoient le permettre l'industrie et les connoissances humaines. On se servit d'abord, dans sa première mesure, d'une chaîne d'acier (2), construite avec le plus grand art par Ramsden, artiste célèbre de Londres, ensuite de perches (3) de bois, de

(1) Le terrein dans la plaine d'Houslonwheat est à peu près de niveau, la montée du sud-est au nord-ouest n'est que d'environ un pied sur mille dans la distance de cinq milles. Lorsque la base fut nivelée, on ne lui trouva qu'environ 31 pieds de pente sur plus de 27400.

Description des moyens employés pour mesurer la base d'Houslonwheat, *traduit de l'anglais par M. Prony*, *inspecteur des ponts et chaussées*, page 19.

(2) Cette chaîne pesoit environ dix-huit livres, et quand elle étoit pliée, elle pouvoit être aisément renfermée dans une boîte de 14 pouces de long, 8 pouces de large et autant de hauteur.

Description des moyens, etc.

(3) Lorsque les perches servirent à la mesure de la base, elles furent comparées chaque jour, et quelquefois plusieurs fois par jour, avec une échelle de cuivre exactement conforme à l'étalon de la Société royale de Londres,

vingt pieds de long, faites de bois rouge de Riga, préparées par le même artiste, de manière à les rendre parfaitement inflexibles. Enfin, ce qui doit paraître singulier, à cause de la fragilité de la matière, on se servit de verges (1) de verre de la même longueur, accompagnées de tout l'appareil qui pouvoit en faciliter l'usage. La première mesure donna pour la longueur de la base 27408,22 pieds anglais; la seconde 27406,26; la troisième 27404,72 pieds ou 4285 toises 4 pieds, suivant l'ancienne mesure de France. Cette dernière détermination fut préférée et regardée, après toutes les réductions faites, comme la vraie longueur de la base ou d'un arc de la circonférence moyenne de la surface de la terre.

---

en observant la température, d'après le thermomètre de Fahreinheit et par ces diverses comparaisons, on découvrit qu'elles étoient très-sujettes à se dilater et à se contracter par l'humidité et la sécheresse de l'atmosphère, et que la loi de leur dilatation et de leur contraction étoit très-variable. La dilatation totale des perches, en y comprenant celle de l'étalon, fut trouvée sur la mesure de la base entière de 24,223 pouces.

Description des moyens, etc.

(1) Une double mesure avec la chaîne d'acier et les verges de verre, ayant été exécutée sur une distance de mille pieds, on trouva à l'extrémité de la dixième chaîne, 2 dixièmes de pouce de moins qu'à l'extrémité de la 50e verge de verre. Cette différence apparente de 2 dixièmes de pouce n'auroit dû être, en tenant compte des contractions respectives de l'acier et du verre, que de 0,17938; la différence réelle entre la mesure prise avec la chaîne et celle donnée par les verges de verre n'étoit donc que de 0,02062 de pouce; ce qui feroit, en supposant toujours la même exactitude dans la double mesure, une différence réelle de 0,565 de pouce, c'est-à-dire, une erreur provenant de la chaîne d'un peu plus d'un demi-pouce sur la longueur entière d'une base de 27404 pieds.

Les contractions respectives de l'acier et du verre ont été calculées d'après les expériences faites en 1785 sur la dilatation des métaux, avec le pyromètre microscopique de Ramsden; il en est résulté que la contraction de l'acier étoit pour mille pieds de 0,45856 et celle de verre, de 0,27918.

Les expériences faites durant et après ces opérations, servirent à démontrer que la dilatation du bois, très-variable et très-irrégulière, le rend peu propre aux mesures qui demandent une grande précision. Elles démontrèrent aussi que le verre est susceptible d'une moindre contraction que l'acier. Ces expériences furent faites par tous les moyens que pouvoient procurer les arts et les sciences dans l'état florissant où ils étoient parvenus.

Les travaux relatifs à la base d'Houslonwheat, ont eu l'avantage d'être exécutés sans obstacle, dans le voisinage d'une grande capitale, par des hommes habiles, sous les yeux des personnes les plus distinguées d'une nation éclairée, du roi lui-même, qui les visita plusieurs fois avec intérêt. On ne peut douter que ces circonstances favorables n'aient beaucoup contribué à la perfection des moyens employés, ainsi qu'à la grande exactitude de l'opération, et nous devons avouer en faveur des Anglais (car nous avons dans ce genre d'assez beaux titres de gloire à leur opposer), qu'aucune opération géodésique n'avoit encore été faite avec ce degré de précision.

Après la mesure de la base, les travaux sur le terrein furent suspendus par la construction de l'instrument qui devoit servir à mesurer les angles; c'est de cet instrument que dépendoit le succès des autres parties de l'opération. Son exécution avoit été confiée au célèbre artiste Ramsden qui, dans une circonstance où la gloire nationale paroissoit intéressée, déploya toute son adresse et son habileté.

Ce chef-d'œuvre de Ramsden, auquel on a donné le nom de *théodolite*, ne fut achevé qu'au bout de trois ans. Il étoit composé d'un cercle entier de trois pieds de diamètre, garni de deux lunettes placées l'une au-dessus, l'autre au-dessous de son plan.

Dès qu'ils en furent dépositaires, les observateurs anglais reprirent leurs travaux et commencèrent à former la chaine des triangles qui devoit s'étendre depuis Londres jusqu'à Douvres. Dans un espace de plus de 60 milles, ils formèrent vingt-quatre triangles, dont le plus grand nombre ne leur présenta que de légères erreurs sur la somme des trois angles observés; mais dans quelques-uns, pour faire accorder cette somme avec deux droits, ils furent obligés de conclure le troisième des deux autres.

La conservation de l'instrument étoit pour eux l'objet d'un soin particulier. Les plus grandes précautions étoient prises pour le transporter sans secousse nuisible d'un lieu dans un autre. Les dépenses n'étoient pas épargnées pour l'établir toujours d'une manière commode et solide. A chaque station il étoit placé sur des espèces d'observatoires construits pour cet objet. Sur les observatoires étoient aussi placés, pour servir de signaux, des réverbères, ou des feux indiens (1).

Arrivés à Romney-Marsh, sur les bords de la mer, à soixante milles de leur point de départ, les observateurs mesurèrent une base de vérification et ne firent usage, dans cette mesure, que de la chaîne d'acier dont ils s'étoient servi pour mesurer la base d'Houslonwheat. Ils ne trouvèrent sur cette nouvelle base que quatre

---

(1) Les feux indiens dont on se servoit pour les signaux étoient renfermés dans de petites boîtes dont les parois brûloient en même temps que la matière. Le temps de la combustion n'excédoit pas $2'\frac{3}{4}$; le vent ni la pluie ne pouvoient les éteindre.

Exposé des opérations faites en France en 1787 pour la jonction des Observatoires de Paris et de Greenwich, page 6.

pouces et demi de différence entre la mesure directe et le résultat donné par le calcul des triangles.

Près du terme auquel ils devoient s'arrêter, les savans Anglais reclamèrent le concours des Français pour coopérer à la jonction projetée. Trois hommes, dont les noms sont chers aux sciences et surtout à l'Astronomie, furent chargés de cette honorable mission, M. Cassini, fils de l'auteur du projet, sur qui reposoit alors tout le soin de la gloire de ses ancêtres, M. Legendre, aujourd'hui regardé comme l'Euclide français, et Méchain, astronome connu par d'importantes observations. Ces trois savans se réunirent à Douvres aux commissaires anglais.

Dans cé conseil, dont tous les membres étoient animés du même zèle et du même amour pour les sciences, fut concerté en un seul jour le plan des opérations qui devoient étendre la chaîne des triangles sur le bras de de l'Océan qui sépare la France de l'Angleterre.

Cependant le choix des stations n'étoit pas facile à faire. La mer resserrée entre Douvres et Calais, dans un espace étroit d'environ dix-huit mille toises, s'élargit ensuite à peu de distance, et sépare les deux rivages par de très-grands intervalles. Comment apercevoir distinctement des objets très-éloignés les uns des autres, à travers les vapeurs et les brouillards qui s'élèvent sans cesse audessus des eaux de la mer? Les stations qui parurent les plus favorables furent sur les côtes de France, Calais, Montlambert auprès de Boulogne, et le cap Blancnez, sur la côte d'Angleterre, Douvres et Fairlight-Down. Ces cinq stations devoient être les sommets des quatre triangles de jonction. Les feux qu'avoit déjà employés avec succès le général Roy, furent adoptés pour servir de

de signaux. Ces sortes de feux apportés de l'Inde et perfectionnés en Angleterre, jettent au loin une clarté extraordinaire, et peuvent être aperçus à de très-grandes distances (1), à travers les brumes les plus épaisses.

Tout étant réglé sur les opérations à faire et sur la correspondance qui devoit s'établir entre les deux rivages, les commissaires français, accompagnés du docteur Blagden, se rembarquèrent à Douvres dans le dessein de se rendre à Calais. Jetés par les vents contraires sur la côte de Boulogne, ils se rendirent de là aux différens postes qu'ils avoient choisis. Méchain s'établit sur le mont Lambert, M. Cassini au cap Blancnez, le docteur Blagden partit pour Calais, et M. le Gendre, pour Dunkerque.

Pendant trois semaines environ, les différens coopérateurs furent occupés sur les deux rives, de la mesure des angles de jonction et des feux qui devoient être allumés pour les observer. C'est alors que fut employé pour la première fois dans les observations géodésiques, le cercle répétiteur inventé par Tobie Mayer et perfectionné par Borda. Celui dont on se servit avoit été construit sous les yeux même et d'après les principes de son dernier auteur, par Lenoir, l'un des meilleurs artistes de Paris.

Les premiers essais que l'on en fit, quoiqu'ils eussent lieu dans des circonstances difficiles et peu favorables, annoncèrent la précision que l'on devoit en attendre;

---

(1) Du mont Lambert par un temps couvert et brumeux au travers de la pluie qui tomboit de temps en temps, Méchain aperçut distinctement à la vue simple les feux du général Roy, allumés près d'Ore à la distance de quarante milles.

Exposé des opérations faites, etc., page 6.

car sur vingt-cinq angles observés, la plus grande erreur des trois angles de chaque triangle ne s'éleva que deux fois jusqu'à 4″,5; les expériences faites depuis ont démontré jusqu'à l'évidence que le cercle répétiteur pouvoit donner une plus grande précision; que les erreurs même qu'il présentoit pouvoient être sans cesse atténuées ou presque entièrement détruites par la répétition successive de l'angle sur toutes les parties du limbe.

Quelque parfait que fût le théodolite, il ne pouvoit balancer les avantages du cercle de Borda; il étoit d'ailleurs plus embarrassant par son volume, moins portatif, moins commode à placer et plus dépendant de l'habileté de l'artiste chargé de le construire.

Après avoir mesuré les triangles de jonction, les commissaires français cherchèrent à les lier à la méridienne de Paris, qui passe à 1420 toises à l'orient de Dunkerque. Pour opérer cette nouvelle jonction, ils avoient besoin d'une base pour appuyer le premier triangle du bout de la chaîne qu'ils avoient à former. Ils établirent cette base entre Dunkerque et Hondscote, et déterminèrent sa longueur, non par une mesure directe, mais par une moyenne proportionnelle entre quatre déterminations conclues de quatre suites de triangles, de laquelle il résultoit que la distance de Dunkerque à Hondscote, réduite au niveau de la mer, niveau constant auquel doivent être ramenées toutes les mesures géodésiques, étoit de 8167 toises.

Cette détermination leur parut mériter assez de confiance pour l'adopter. Le degré d'exactitude sur lequel ils pouvoient compter, étoit suffisant pour le but qu'ils avoient à remplir. Une mesure directe auroit exigé d'ailleurs beaucoup de temps, de grands préparatifs et des dépenses nouvelles qui n'auroient rien ajouté à la pré-

cision que l'on pouvoit espérer sur la différence des méridiens entre Paris et Greenvich, puisqu'à la latitude de Dunkerque 10 toises répondent à un arc d'environ 1″ de degré.

Leur confiance fut pleinement justifiée par la suite de leurs opérations; car en s'appuyant sur le côté de la méridienne de Paris, pris pour base entre Dunkerque et Hondscote, et parcourant une chaîne de seize triangles, pour en conclure la longueur de la base anglaise de Romney-Marsh. Elle a été trouvée par le calcul, de 26769,pieds6, et d'après une mesure directe à laquelle on avoit apporté les plus grands soins, elle étoit de 26772,6. La différence de trois pieds entre la base conclue par les commissaires français et celle de Romney-Marsh ne pouvoit avoir aucune influence sensible sur le grand objet de l'opération ou la jonction des deux Observatoires.

La base nécessaire à leurs opérations étant ainsi déterminée, ils se hâtèrent d'achever avant la fin de l'automne la mesure des triangles; ce ne fut pas sans éprouver beaucoup de peine; déjà la saison étoit avancée, les pluies qui tomboient en abondance leur opposoient souvent de grands obstacles. Ils étoient obligés de se transporter successivement dans leurs diverses stations, de marcher le plus souvent à pied et dans des temps horribles, sur un terrein gras et fangeux, amolli par les pluies continuelles; ils profitoient des courts intervalles qu'elles leur laissoient pour établir leurs Observatoires au sommet des tours et des clochers sur lesquels ils ne trouvoient souvent que des situations incommodes, des espaces étroits, d'où la violence des vents qui s'élevoient quelquefois tout-à-coup pouvoit à chaque instant les précipiter.

2.

Lorsque le savant quitte la solitude tranquille de son cabinet pour mettre en pratique les spéculations de la Théorie, il peut trouver aussi les dangers et les fatigues; mais il en trouve le prix dans les jouissances que lui font éprouver les motifs glorieux qui le portent à s'y dévouer, et les résultats qu'il doit obtenir pour l'avancement des connoissances humaines. Malgré les obstacles qu'avoient rencontrés les commissaires français, toutes leurs opérations furent terminées vers le 12 novembre 1787. Ils repassèrent alors en Angleterre, ils y revirent leurs coopérateurs, et ces savans unis dans leurs travaux, s'unirent encore par les liens de l'amitié.

Pendant le séjour qu'ils firent à Londres, les commissaires français eurent beaucoup à se louer de l'accueil favorable qu'ils reçurent des membres les plus distingués de la Société royale de Londres, et surtout du chevalier Bancks. Le plus beau privilége des sciences est d'unir par une douce fraternité les savans de tous les pays. Cette union respectable et sacrée n'est détruite ni par les jalousies nationales, ni par les discussions politiques; elle se conserve même au milieu des feux de la guerre.

Environ deux ans après, les résultats des opérations anglaises et françaises furent publiés en Angleterre par le général Roy, et en France par M. Cassini. Pour les faire concourir à la détermination précise de la différence des méridiens entre les Observatoires de Paris et de Greenvich, les commissaires choisirent les quatre points principaux de jonction, Douvres, Calais, Blancnez et Mont-Lambert; ils en calculèrent les distances au méridien de Greenvich, ainsi qu'à celui de Dunkerque, et le nombre des degrés de longitude que comprennent ces deux distances. Dans leurs réduc-

tions en longitude, ils supposèrent, conformément à la loi adoptée par Bouguer, l'accroissement des degrés du méridien de l'équateur aux pôles, proportionnel à la quatrième puissance du sinus de la latitude. Ils firent aussi les mêmes calculs dans la supposition des méridiens elliptiques, et de l'aplatissement de $\frac{1}{230}$ trouvé par Newton. La première hypothèse donna pour la différence des méridiens de Greenvich et de Paris, en tenant compte de la distance de Dunkerque situé à l'Occident de ce dernier, 2° 19′ 26″, 2 ou 9′ 18″, 6 de temps et la seconde, 2° 20′ 9″, 4 ou 9′ 20″, 6 de temps (1).

Les travaux exécutés par la jonction des deux Observatoires méritent sans doute la plus grande confiance. Elle est due à l'habileté des hommes à qui ces importantes opérations ont été confiées; mais les hypothèses sur lesquelles sont appuyées leurs réductions en longitude, sont aujourd'hui totalement abandonnées.

La première, imaginée par Bouguer pour concilier diverses mesures des degrés des méridiens qui donnoient des aplatissemens différens, ne peut être regardée comme une loi de la nature; car l'hypothèse physique qui représenteroit les mesures des méridiens, devroit encore satisfaire aux variations de la pesanteur observées à la surface de la terre; mais d'après la remarque de M. Laplace, l'accroissement de la pesanteur de l'équateur à Pello, est égal suivant les observations, à 0,0045 de la pesanteur totale, et suivant l'hypothèse de Bouguer, il n'en seroit que (2) la 0,0027 partie.

(1) La différence des méridiens de Paris et de Greenwich, adoptée aujourd'hui par le Bureau des longitudes de France est de 9′ 21″.

(2) *Exposition du Système du Monde*, liv. 4, chap. 7.

La seconde hypothèse suppose l'homogénéité de la terre, contestée par les faits, et donne un aplatissement trop grand. Les opérations faites en France par Méchain et M. Delambre, comparées avec celles de Bouguer et de la Condamine, au Pérou, le réduisent, d'après les derniers calculs, à la 309e partie du diamètre de l'équateur terrestre; il en est la 321e d'après l'ensemble de toutes les anciennes observations sur la longueur du pendule, la 303e d'après les dernières faites en France sous différens parallèles, et la 305e d'après la Théorie de M. Laplace, sur les inégalités lunaires. Ce dernier aplatissement, qui tient un milieu entre les résultats les plus probables, paroît devoir mériter la préférence dans tous les calculs astronomiques.

Au reste les observations que nous faisons ici sur les diverses hypothèses de l'aplatissement de la terre, ne portent aucune atteinte à l'exactitude des opérations géodésiques exécutées tant en France qu'en Angleterre, pour la jonction des deux Observatoires; elles pourront toujours concourir avec les observations des éclipses, et surtout celles des occultations d'étoiles, à déterminer de la manière la plus précise la différence de leurs méridiens.

Article II.

MESURE DE L'ARC DU MÉRIDIEN

COMPRIS ENTRE LES PARALLÈLES

DE DUNKERQUE ET DE BARCELONE.

Nous allons parler maintenant d'une opération géodésique, supérieure à toutes celles des anciens et des mo-

dernes, c'est-à-dire, de la mesure de l'arc du méridien compris entre les parallèles de Dunkerque et de Barcelone, qui vient d'être exécutée par Méchain et M. Delambre.

Les mesures de la terre les plus célèbres chez les anciens, sont celles d'Eratosthène et de Possidonius. Le premier détermina, par la hauteur solsticiale observée à Alexandrie, l'arc céleste compris entre cette ville et Syenne, où le soleil, disoit-on, éclairoit le fond des puits le jour du solstice, et les corps élevés verticalement ne donnoient aucune ombre à midi. Le second mesura par les hauteurs de l'étoile *Canopus*, le nombre des degrés du méridien, interceptés entre Rhodes et Alexandrie ; mais ils ne firent l'un et l'autre qu'une évaluation grossière des distances comprises entre les extrémités des arcs mesurés, et se trompèrent d'ailleurs, l'un de trois degrés, et l'autre de deux, en longitude.

La mesure de la terre, ordonnée par le calife Almamon, vers le commencement du neuvième siècle, n'avoit pas une plus grande précision. Ses astronomes s'assemblèrent dans la vaste plaine de Singar en Mésopotamie ; ils observèrent la hauteur du pôle, se séparèrent en deux troupes, dont l'une marchoit vers le nord et l'autre vers le midi, en mesurant chacune de son côté la route qu'elle parcouroit. Les deux troupes ne s'arrêtèrent que lorsque la hauteur du pôle, de temps en temps observée, les eut averties qu'elles avoient chacune parcouru un degré terrestre. Les deux degrés ainsi mesurés par les astronomes arabes, ne s'accordèrent qu'à 600 toises près, erreur qu'ils partagèrent sans scrupule entre les deux degrés.

Peut-on mettre au nombre des mesures régulièrement exécutées, celle de Fernel, médecin et géomètre du

seizième siècle, qui, pour évaluer la distance de Paris à Amiens, compta le nombre des révolutions de la roue d'une voiture?

Snellius, qui vécut au commencement du dix-septième siècle, quoiqu'il eût employé une meilleure (1) méthode, ne fut pas plus heureux dans sa mesure d'Alcmaer à Berg-op-Zoom. Norvood, en 1635, se trompa de 400 toises dans celle de Londres à Yorck; Riccioli et Grimaldi, de 5000 sur la mesure d'un degré du méridien.

Les mesures terrestres les plus célèbres parmi les modernes, sont celle de Picard, exécutée en 1669, celle de Cassini et de Lahire, commencée en 1683 et terminée après une longue interruption en 1718, celles de Bouguer, la Condamine et Godin, sous l'équateur, de Maupertuis, Clairaut, Lemonnier, Camus et Outhier, vers le cercle polaire; la première exécutée depuis 1736 jusqu'en 1742, et la seconde dans l'année 1735; celle de La Caille, au cap de Bonne-Espérance; enfin l'opération de la méridienne vérifiée en 1739 par le même astronome et Cassini de Thury.

Quoique toutes ces opérations aient été faites avec une précision inconnue aux anciens, elles n'avoient pas encore atteint le degré d'exactitude des dernières mesures exécutées en France.

Picard, dans la mesure de l'arc céleste compris entre le zénith de Paris et celui d'Amiens, n'ayant pu tenir compte des mouvemens apparens des étoiles qui ne

(1) La méthode de Snellius quant à la partie géométrique, consiste à mesurer une base et à former une suite de triangles d'une extrémité à l'autre de l'arc dont on veut connoître la valeur.

furent



furent découvertes par Bradley que vers l'année 1728, s'étoit, trompé de quelques secondes sur cette mesure. Sa toise comparée avec celle de l'Académie des sciences de Paris, a été reconnue trop courte d'environ un millième; de là sont nées des erreurs qui se sont en partie compensées, mais ne se sont pas entièrement détruites.

Les erreurs de Dominique Cassini et de Lahire étoient telles, qu'elles indiquoient contre la Théorie d'Huyghens et de Newton, un accroissement des degrés du nord au midi, et l'aplatissement du globe terrestre non au pôle, mais à l'équateur. Les opérations du cercle polaire, du Pérou et de la méridienne vérifiée qui les ont fait reconnoître, ont mis les faits d'accord avec les principes.

Enfin l'exactitude de la mesure septentrionale de Maupertuis et de ses coopérateurs, est aujourd'hui contestée par les astronomes Suédois; nous parlerons ci-après de leurs nouvelles opérations en Laponie pour la détermination d'un arc méridien.

D'autres degrés ont encore été mesurés par Mason et Dixon dans l'Amérique septentrionale, par Boscovich et Lemaire près de Rome; par Liesganig en Hongrie et en Autriche, par Beccaria dans le Piémont; mais ni ces mesures ni les précédentes que nous venons de citer ne peuvent être comparées avec celle dont nous devons parler ici, ni par la précision, ni par la grandeur de l'arc mesuré, ni par l'importance de l'objet qui l'a fait entreprendre. Les avantages qui doivent en résulter s'accroîtront avec le temps. Les générations futures dont elle excitera la reconnoissance, la regarderont comme un monument de l'état des connaissances humaines à la fin du dix-huitième siècle.

L'un des premiers avantages de cette grande opération est de donner au monde le type d'une mesure invariable prise dans la nature ; car, n'en doutons point, la mesure déduite du méridien terrestre finira par triompher des résistances de la paresse et de l'habitude, des opinions politiques et des jalousies nationales ; elle deviendra la mesure universelle, et le peuple français le bienfaiteur des autres peuples.

Depuis long-temps les hommes réunis en société ont senti le besoin d'une mesure invariable, et conçu l'idée de la rendre universelle. Cette idée, attribuée même aux anciens, s'est souvent reproduite parmi les modernes et surtout parmi les savans qui se sont occupés de la mesure de la terre, tels que *Picard*, *la Condamine* et *Cassini* ; Ils ont vu que le type ou modèle inaltérable qu'ils cherchoient ne pouvoit se trouver que dans les dimensions du globe terrestre, ou dans la longueur du pendule simple qui mesure la durée de sa rotation diurne par le nombre de ses oscillations sous un parallèle déterminé.

La voix des savans étoit quelquefois parvenue, mais sans succès, jusqu'aux ministres de l'ancien gouvernement. En 1790, l'assemblée constituante, frappée de l'incohérence, de la diversité des anciennes mesures, et de la bizarrerie de leurs divisions, chargea l'Académie des Sciences de présenter sur cet objet un système complet, fondé sur un modèle invariable.

Une commission fut nommée dans le sein de l'Académie ; elle étoit composée des hommes les plus célèbres dans les sciences physiques et mathématiques, Borda, MM. Lagrange, Laplace, Monge et Condorcet. Ils s'occupèrent des moyens d'établir l'unité fondamentale. Pour la rendre immuable comme la nature, leur choix

ne pouvoit se fixer que sur la longueur du pendule, sur celle d'un arc de l'équateur ou du méridien. Ils regardèrent d'abord le pendule comme le moyen le plus facile d'obtenir l'unité de longueur; mais il ne leur parut pas assez simple de la faire dépendre de deux élémens qui lui sont étrangers, la pesanteur et le temps, dont la division même est arbitraire. Ils se déterminèrent à rendre la mesure de la distance dépendante de la distance elle-même, et par conséquent à choisir une portion de l'équateur ou du méridien; mais l'arc de l'équateur n'est pas susceptible d'être mesuré avec la même précision que l'arc du méridien. Si les opérations géodésiques sont les mêmes, les observations astronomiques sont différentes. L'arc céleste correspondant à la mesure terrestre sur l'équateur, se détermine par le temps, et chaque seconde de temps répond à quinze secondes de degré de la division sexagésimale. Comme il est plus facile d'éviter une erreur de quinze secondes de degré que celle d'une seconde de temps, il est probable que l'on obtiendra la mesure d'une distance terrestre plus exactement sur le méridien que sur l'équateur. Les commissaires choisirent donc le quart du méridien terrestre (1) pour l'unité réelle des mesures, et la dix-millionième partie de cette longueur pour l'unité usuelle; mais ils pensèrent que pour faire correspondre l'unité fondamentale des mesures linéaires à l'une des divisions du quart du méridien, le quart de la circonférence devoit être en même temps divisé en 100 degrés, le degré en 100 minutes, la minute en 100 secondes, qu'ainsi l'expression d'un arc pourroit donner

(1) *Mémoires de l'Académie des Sciences pour* 1788, page 7.

celle d'une mesure correspondante sur la terre, et réciproquement, que l'arc céleste d'une seconde pourroit exprimer une distance terrestre de 10 mètres; celle d'une minute, la distance de 1000 mètres; que d'après ces relations établies, il seroit aisé de comparer une distance terrestre quelconque avec la circonférence entière du globe; que le navigateur pourroit lire sans peine dans les espaces célestes, la route qu'il décrit sur la vaste étendue des mers.

L'unité des mesures linéaires à laquelle on donne le nom de *mètre*, fut encore appliquée aux mesures de surface et de capacité. Le carré de son décuple fut pris pour l'unité des surfaces, le cube de sa dixième partie pour celle de capacité. La quantité d'eau distillée que contient ce cube, lorsqu'elle est réduite au degré de température qui la fait passer de l'état de solide à celui de liquide, fut prise pour *unité de poids* (1); enfin, pour simplifier tous les calculs, il fut décidé que les multiples et sous-multiples des différentes unités suivroient la progression décimale conformément au système de numération adopté par tous les peuples de l'Europe.

Mais comme dans ce système de mesures, toutes dérivent d'une seule, c'est-à-dire, de l'unité de longueur, les commissaires de l'Académie proposèrent de mesurer immédiatement un arc du méridien depuis Dunkerque jusqu'à Barcelone, espace qui comprend plus de 9° $\frac{1}{2}$ et réunit deux grands avantages, le premier, d'être coupé par le parallèle moyen, et le second, d'aboutir par ses extrémités au niveau des deux mers.

(1) On sait que l'unité de poids est maintenant la quantité d'eau distillée contenue dans un centimètre cube.

Pour faire entrer dans leur plan les avantages qui peuvent résulter de la longueur du pendule simple, les commissaires proposèrent encore de faire au 45e degré de latitude, des observations, sur le nombre d'oscillations que feroit en un jour un pendule dont la longueur seroit égale à la dix-millionième partie du quart méridien; ce nombre connu devoit déterminer pour toujours cette longueur et la rendre facile à retrouver dans tous les temps.

Tel est le vaste projet conçu dans le sein de l'Académie, au milieu des premières agitations de la France. En proposant une nouvelle mesure de la méridienne, sur l'exactitude de laquelle il restoit quelque doute, elle n'envisageoit pas seulement les avantages du nouveau système métrique, elle portoit encore ses vues sur des questions importantes de la Physique céleste, qu'elle desiroit voir éclaircir; elle ne desiroit pas moins soutenir la gloire nationale intéressée à mettre la plus grande précision dans une mesure qui doit un jour influer sur toutes les transactions des peuples civilisés.

Animée du même esprit, l'Assemblée constituante adopta le projet de l'Académie dans toute son étendue, le 26 mars 1791, et la chargea du soin de l'exécution. L'Académie nomma plusieurs de ses membres pour s'occuper des différentes parties qui concernent le système métrique, et confia la mesure de l'arc du méridien à deux astronomes que leur habitude d'observer et leur mérite reconnu rendoient dignes de remplir glorieusement cette mission importante et pénible; c'étoient Méchain et M. Delambre.

Dès ce moment, M. Lenoir, l'un des artistes les plus renommés de Paris, s'occupa de la construction des instrumens; il exécuta quatre cercles répétiteurs pour la

mesure des angles, de grandes règles de platine pour celle des bases, et des réverbères à miroir parabolique pour servir de signaux.

Quinze mois s'écoulèrent dans l'attente des instrumens. Pendant ce temps, des expériences qui devoient se lier aux mêmes opérations, furent faites sur le pendule par Borda et M. Cassini, et sur la dilatation relative du cuivre et du platine, par Borda, Lavoisier et M. Lenoir.

Enfin les deux premiers cercles répétiteurs étant achevés, les deux observateurs se partagèrent la méridienne qu'ils avoient à mesurer. La partie boréale de l'arc, qui s'étend de Dunkerque à Rodez, et comprend 380 mille toises, échut en partage à M. Delambre, Méchain se chargea de la partie australe qui s'étend de Rodez à Barcelone, et comprend 170 mille toises.

Dans ce partage inégal, ils avoient mis une compensation nécessaire, en observant que la première partie ayant été déjà mesurée deux fois, ses principales stations étoient connues, et que dans la seconde au-delà des limites de la France, elles étoient encore toutes à reconnoître ou à créer; mais les deux astronomes n'avoient pu prévoir et mettre dans la balance que les causes physiques, et non les causes morales qui pouvoient accélérer ou retarder leurs travaux. Parmi les obstacles qu'ils ont éprouvés, plusieurs tiennent aux circonstances des temps où se sont faites les opérations.

Tous deux en éprouvèrent dès l'entrée de leur première campagne, qui commença vers la fin du mois de juin 1792. Dans ces temps de troubles, des hommes chargés d'opérations dont les apprêts sont inconnus aux yeux de la multitude, ne pouvoient être à l'abri de ses soupçons; l'autorité royale expirante ne pouvoit plus les pro-

téger efficacement contre les effervescences populaires; c'est par une suite de l'inquiétude générale qui se manifestoit alors, que Méchain, partant pour l'Espagne, fut arrêté à peu de distance de Paris; ce n'est qu'avec beaucoup de peine et par le crédit qu'avoient encore les magistrats sur l'esprit du peuple, qu'il obtint la liberté de continuer sa route.

Il trouva les mêmes inquiétudes aux extrémités de la France; dans les Pyrénées, la présence de deux commissaires espagnols qui l'accompagnoient dans ses courses, alarmoit les habitans des villages français; les signaux que nécessitent les observations des angles étoient un autre sujet d'alarme bien plus grand; ils n'annonçoient alors aux yeux du vulgaire ignorant, que la guerre civile ou des projets contre-révolutionnaires; c'est pour cette raison qu'il se vit forcé d'abandonner pour le moment deux stations nécessaires qu'il avoit établies sur les frontières. En Espagne, toutes ses opérations furent faites sans obstacle. En moins de deux mois, neuf stations furent reconnues et tous leurs angles mesurés; il passa l'hiver à Mont-Jouy, situé au sud de Barcelone, y détermina sa latitude (1), et fit plusieurs observations azimutales pour connoître la direction des côtés de ses triangles par rapport à la méridienne.

M. Delambre avoit à lutter dans l'intérieur de la France contre des difficultés de tous genres. Chargé d'une partie de la méridienne beaucoup plus étendue, il étoit obligé,

(1) Latitude de Mont-Jouy déterminée par Méchain, 41° 21′ 45″.
Base du Système métrique décimal, ou mesure de l'arc du méridien entre Dunkerque et Barcelone, tome 2, page 615.

pour marcher de pair avec son collègue, de choisir les mêmes stations que les auteurs de la méridienne vérifiée en 1740; mais le temps et les circonstances avoient occasionné de grands changemens; quelques-uns de ces édifices que l'on voyoit au loin s'élever dans les airs, avoient disparu; des tours, des flèches de clochers propres aux observations avoient été détruites; d'autres tomboient en ruine. Si les observateurs essayoient de faire élever des signaux, des attroupemens se formoient pour les en empêcher, ou s'ils parvenoient à les faire placer, ils étoient bientôt enlevés ou détruits.

Sur ces entrefaites arrive la fameuse journée du 10 août; les alarmes et la fermentation parmi le peuple deviennent encore plus grandes; toutes les municipalités sont en permanence. M. Delambre et ses coopérateurs sont arrêtés à chaque pas; leur liberté, quelquefois même leur vie est menacée (1). Au château de Belle-Assise, ils sont enlevés par un détachement de la garde nationale, entraînés à travers champs, par une pluie affreuse, arrivent à Lagny à minuit, sont consignés dans une auberge avec deux sentinelles qui devoient veiller toute la nuit à leur porte. A Epinay, à Saint-Denis, ils sont obligés d'étaler leurs instrumens sur la place publique, et d'en expliquer l'usage; la foule se presse autour d'eux, on écoute sans comprendre, les curieux se succèdent, demandent de nouvelles explications qui ne sont pas mieux comprises que les premières; des murmures défavorables, des clameurs se font entendre; les autorités constituées ont peine à les contenir. Le président du dis-

---

Base du Système métrique etc. Discours préliminaire, page 31.

trict

trict de St.-Denis est obligé, pour les sauver, d'affecter une grande sévérité, de faire arrêter leurs voitures et mettre les scellés sur leurs effets.

C'est au milieu de cette fermentation générale que M. Delambre avoit commencé et vouloit poursuivre ses opérations. Il avoit lieu de craindre qu'en cherchant à les remettre à des temps plus tranquilles, les occasions de les reprendre ne fussent trop long-temps retardées. Dans des circonstances aussi critiques, aussi périlleuses, il eut besoin d'opposer un courage calme et tranquille aux obstacles sans nombre qu'elles lui faisoient éprouver. Retenu à St.-Denis où même il étoit obligé de se tenir caché, il fut forcé, pour obtenir la tranquillité nécessaire à ses opérations, de recourir à l'autorité de l'Assemblée nationale qui, sur la proposition de M. de Lacépède, aujourd'hui grand chancelier de la légion d'honneur, rendit aussitôt un décret qui lui accorda, ainsi qu'à Méchain, toute la protection dont ils avoient besoin pour continuer paisiblement leurs travaux.

M. Delambre les reprit avec un nouveau courage vers le milieu de septembre; il établit le Panthéon comme centre de ses observations, aux environs de Paris; il y fit construire une espèce d'Observatoire, duquel on pouvoit observer tout ce qu'ils présentent de plus remarquable sur une circonférence de dix lieues de rayon. Il termina cette campagne le 28 février 1793, après avoir mesuré tous les angles qui pouvoient être observés de quatorze stations différentes.

Pendant ce temps, Méchain se disposoit à se rapprocher des Pyrénées; la partie Espagnole de la méridienne étoit achevée; mais il avoit conçu le projet d'étendre sa mesure jusqu'aux îles Baléares, afin que l'arc total se

trouvât divisé en deux parties égales par le 45e parallèle. Il devoit joindre les côtes de la Catalogne aux îles de Mayorque et d'Ivice, par une nouvelle chaîne de triangles dont il avoit déjà formé le plan et fait mesurer plusieurs angles avec le graphomètre. Tandis qu'il étoit occupé de ce projet et de plusieurs observations astronomiques, ses travaux furent tout-à-coup interrompus par un accident qui le retint deux mois dans son lit et le priva pendant un an de l'usage du bras droit. C'est à cette époque que commença (1) pour cet astronome laborieux une suite de traverses et de chagrins qui ne finirent qu'avec sa vie.

En 1793, le desir qu'avoit M. Delambre d'accélérer ses opérations fut encore traversé par de nouveaux obstacles; il vouloit se remettre en campagne dès le mois de mars; mais de sombres nuages s'étoient élevés de toutes parts sur le sol Français. A l'inquiétude générale avoit succédé une tyrannie d'autant plus terrible, qu'elle étoit exercée au nom de la liberté; une inquisition de plus en plus sévère veilloit sur tous les pas, sur toutes les actions des citoyens. Rentré dans Paris, M. Delambre avoit besoin de nouveaux passe-ports pour en sortir. Sa demande portée, suivant l'usage de ce temps, à l'assemblée générale de la commune, fut unanimement rejetée; il la réitéra vainement pendant six semaines; il n'obtint enfin les passe-ports qu'il demandoit que vers le commencement de mai, par l'entremise de Cousin, de l'Académie des Sciences, alors membre du comité des subsistances de la commune.

---

(1) *Base du Système métrique*, etc. *Discours préliminaire*, page 43.

Il partit sur le champ pour Dunkerque, et du 18 mai au 6 octobre, la mesure de toute la partie de la méridienne située dans les départemens du nord de Paris fut achevée. On trouvera sans doute qu'elle fut exécutée avec une grande célérité, si l'on considère toutes les entraves que mettoient à ses opérations les circonstances des temps, entraves dans les courses, dans les voyages, dans les communications devenues difficiles entre les diverses stations, par la dépendance où l'on se trouvoit à chaque pas de la force armée et des autorités locales, entraves par les dénonciations et les recherches auxquelles on étoit exposé. Certes, le savant qui, sans compter les plus rudes fatigues, se dévouoit courageusement à tant de traverses et de dégoûts ne pouvoit qu'être épris d'un véritable amour pour les sciences et pour la gloire de son pays; il voyoit la récompense de ses travaux, non dans le temps présent qui sembloit les repousser ou n'y prendre qu'un foible intérêt, mais dans un avenir qui pouvoit être fort éloigné, et s'il étoit dans l'incertitude d'être un jour témoin des avantages qu'ils pouvoient produire, il avoit au moins la postérité présente à ses yeux pour le soutenir.

Cependant la mesure de la méridienne commençoit à s'avancer; en Espagne, la chaîne des triangles s'étendoit de Mont-Jouy aux Pyrénées; vers le nord de la France, de Dunkerque jusqu'au-delà de Fontainebleau. Déjà M. Delambre dirigeoit ses opérations vers le midi et se portoit du côté d'Orléans, lorsqu'il reçut la nouvelle de sa destitution, comme membre de la commission des poids et mesures, l'ordre de cesser ses opérations et de mettre au net ses mémoires et ses calculs; il importe, disoit l'arrêté du Comité de salut public, qui le destituoit,

ainsi que Borda, Lavoisier, M. Laplace, Coulomb et Brisson, « que ceux qui sont chargés du Gouvernement » ne délèguent de fonction ni ne donnent de mission » qu'à des hommes dignes de confiance par leurs vertus » républicaines et leur haine pour les rois ». C'est sur ces vains prétextes qu'étoient arrêtés les travaux d'un homme utile à son pays; c'est ainsi qu'il se voyoit arracher le plus noble prix qu'il en attendoit, la gloire d'achever l'opération difficile qu'il avoit commencée.

Le géomètre absorbé dans les détails immenses d'une grande entreprise et les profondes méditations qu'elle exige, pouvoit-il inspirer quelque défiance? étoit-il dangereux pour la république, à laquelle ses travaux étoient consacrés? « En me confiant la mesure de la méridienne » dans des temps si orageux, dit M. Delambre (1), sans » doute on ne demandoit pas que je quittasse mes clochers » et mes signaux pour aller dans les clubs faire parade » de sentimens républicains et de haine pour les rois. »

Il obtint cependant la faculté de continuer ses observations jusqu'aux stations de Château-Neuf et d'Orléans; elles furent terminées le 24 janvier 1794. Peu de jours après il revint à Paris; à son arrivée il trouva les scellés chez lui. La mission qu'il avoit remplie lui servit à les faire lever, en gardant toutefois le silence sur l'ordre qui l'avoit révoquée, silence que, dans ces temps critiques, sa sûreté lui prescrivoit. Mais la visite de tous ses papiers fut faite rigoureusement par des commissaires du Comité révolutionnaire de sa section, qui le traitèrent cependant avec égard, et lui laissèrent même un diplôme latin de la Société royale de Londres, où se trouvoient

(1) *Base du Système métrique, etc. Discours préliminaire*, page 51.

le nom et les armes du roi Georges, quoique ces empreintes de la royauté eussent paru leur causer quelque ombrage.

Après quinze mois d'interruption, la reprise des opérations fut ordonnée par la Convention nationale, et M. Delambre chargé de nouveau, conjointement avec son ancien collègue, de la mesure de la méridienne. L'un devoit continuer sans délai la chaîne des triangles, en allant vers le midi, et l'autre venir à la rencontre du premier, en partant des Pyrénées.

Avant la reprise des opérations géodésiques, MM. Delambre, Laplace, Prony, visitèrent, conformément à la décision prise par la commission des poids et mesures, dont ils faisoient partie, le chemin de Lieursaint à Melun, pour déterminer l'emplacement de la base qui devoit être mesurée près de Paris. Cet emplacement parut de beaucoup préférable à celui de l'ancienne base de Juvisi, où l'on ne pouvoit pas mesurer plus de cinq mille toises, tandis que sur la route de Lieursaint à Melun, il étoit possible d'en établir une de dix à onze mille toises; il fut cependant arrêté que sa longueur ne seroit que d'environ six mille.

M. Delambre partit ensuite pour Orléans, et dans l'intervalle de trois mois et demi, il mesura tous les triangles qui devoient occuper la distance de cette ville à Bourges. Cependant cette partie de la méridienne fut encore semée pour lui de nombreuses traverses. Il eut d'abord, comme les académiciens qui la mesurèrent en 1740, beaucoup de peine à trouver sur cette étendue de pays, une disposition convenable de triangles. A cette difficulté se joignit celle du discrédit rapide des assignats qui, ayant opéré dans les fonds qu'il avoit entre les mains, une

énorme réduction, l'arrêtoit dans ses opérations, dont il ne pouvoit payer les frais et le forçoit souvent de rester dans l'inaction. Les moyens même de subvenir aux besoins de la vie, lui manquoient tant pour lui que pour ses coopérateurs que l'on refusoit de loger et de nourrir pour un papier auquel on ne donnoit aucune valeur; il lui est même arrivé quelquefois d'être mis avec eux au nombre des bateleurs et des charlatans. Mais au milieu des peines qu'il éprouvoit, il avoit la satisfaction de voir sa chaîne trigonométrique s'étendre sans interruption de Dunkerque à Bourges, c'est-à-dire sur une distance d'environ deux cent vingt mille toises.

Tel étoit vers le commencement de décembre 1795, l'état de la mesure de la méridienne, en s'avançant du nord vers le midi de la France. Il n'est pas moins intéressant de connoître l'état où Méchain l'avoit amenée vers la même époque du côté de l'Espagne et des Pyrénées.

Après l'accident qui l'avoit privé de l'usage du bras droit, il étoit allé prendre les eaux de Caldas; il se rapprocha ensuite des Pyrénées, pour mesurer les angles des stations de Camellas et d'Estella, au moyen desquelles devoit s'opérer la jonction géométrique des triangles espagnols aux triangles français. Ces mesures furent terminées par lui-même et l'un de ses coopérateurs, le 3 décembre 1793. Il ne lui restoit plus, pour rendre sa jonction complète, qu'à mesurer les angles à Perpignan, au pic de Bugarach et au mont Forceral; il se préparoit à ces opérations, lorsqu'un ordre du général espagnol qui commandoit dans la Catalogne, l'empêcha de rentrer en France. La guerre entre ces deux pays étant alors ouvertement déclarée, on crut que la sûreté des fron-

tières espagnoles exigeoit qu'il fût retenu jusqu'à la paix, à cause des connoissances locales qu'il avoit acquises, en parcourant les diverses stations des Pyrénées.

Méchain condamné, dans un pays étranger, aux ennuis de l'inaction, passoit ses jours dans la tristesse et l'inquiétude. Il étoit alarmé sur le sort de sa femme et de ses enfans, dont il recevoit rarement des nouvelles qui ne lui parvenoient même qu'avec beaucoup de peine et de temps, la guerre et les circonstances qui l'accompagnoient ayant élevé des barrières presque insurmontables entre les deux Etats. Ses alarmes étoient augmentées par le récit des scènes sanglantes qui se passoient en France, et qui, dans l'éloignement, se présentoient encore à son esprit sous des couleurs plus sombres et plus terribles. Sa situation devenoit d'autant plus critique qu'il lui restoit à peine des ressources suffisantes pour vivre; les fonds mis à sa disposition par le Gouvernement Français étoient séquestrés entre les mains des banquiers espagnols.

Huit à neuf mois s'écoulèrent pour lui dans cette triste captivité. Il obtint enfin des passe-ports pour l'Italie, reçut vers le même temps quelques secours en argent que sa femme parvint à lui faire passer, s'embarqua pour la Toscane, aborda à Livourne, non sans beaucoup de peine, et se rendit à Gènes vers le commencement de septembre 1794, époque où les opérations de la méridienne furent interrompues.

Etant à Marseille vers le temps où le décret de la Convention nationale le chargeoit, ainsi que son collègue, de reprendre leurs travaux, il ne tarda pas à se rendre du côté de Perpignan, dans le voisinage de ses anciennes stations. Il parcourut d'abord toutes celles qui se trouvent entre Carcassone et les Pyrénées, y fit placer des signaux

et revint, vers le Mont-Forceral et le pic de Bugarach, achever la jonction des triangles qu'il avoit été forcé de laisser incomplète.

Ces deux stations furent les plus pénibles et les plus difficiles qu'il eût encore trouvées. Le pic de Bugarach, élevé de 600 toises, n'en a pas deux d'étendue. Il est bordé de précipices, souvent enveloppé de nuages et battu par des ouragans furieux. « On n'y peut arriver, » écrivoit Méchain à M. Delambre, qu'en s'accrochant » aux buis, aux broussailles, et en gravisant les rochers. » Cette marche est de quatre à cinq heures; la des- » cente est encore plus pénible et plus scabreuse. Les » autres stations, quoique moins élevées, étoient d'un » accès aussi difficile. »

C'est sur les sommets de ces rochers escarpés, éloignés de trois ou quatre lieues de toute habitation, que Méchain et ses coopérateurs étoient obligés de placer des signaux, de passer les jours et les nuits couchés sur un peu de paille, à l'abri d'une simple tente, pour attendre les momens propices aux observations, de revenir plusieurs fois aux mêmes stations et avec les mêmes difficultés, replacer des signaux abattus par les vents.

Méchain fit dix voyages au mont Forceral, y coucha plusieurs nuits à la belle étoile, pour observer quatre angles. Il étoit presque découragé; mais que ne peuvent une volonté ferme, un travail opiniâtre et la noble ambition de vaincre tous les obstacles dans une grande entreprise qui doit fixer les regards de l'avenir?

Méchain termina heureusement ces deux pénibles stations. Il poussa ensuite la mesure de ses triangles, en revenant vers le nord jusqu'à Carcassone. Cette mesure fut achevée vers la fin de novembre, époque où M. Delambre avoit

avoit étendu ses triangles jusqu'à Bourges. Les deux astronomes avoient alors mesuré, tant au nord qu'au midi, environ trois cent trente mille toises, et ils étoient encore séparés dans leurs opérations par un intervalle d'environ deux cent vingt mille.

Pendant l'hiver de 1796, M. Delambre fut occupé à déterminer la latitude (1) de Dunkerque par un très-grand nombre d'observations des étoiles circompolaires. Méchain déterminoit dans le même temps celle de (2) Perpignan. Ces sortes d'opérations plus tranquilles les délassoient de leurs travaux pénibles des autres saisons de l'année; elles reportoient leurs regards vers le ciel, objet chéri de leurs études accoutumées.

Ces observations délicates furent faites au moyen du cercle de Borda, avec toutes les précautions qu'elles exigent, tant pour vérifier l'instrument, lui donner exactement la position qui lui convient, éviter les erreurs qui dépendent du niveau, que pour corriger les distances au zénith, observées près du méridien, réduire les distances apparentes aux distances vraies, et suivre la marche de la pendule.

Dès que M. Delambre eut achevé ses opérations relatives à la latitude de Dunkerque, il revint sans délai aux stations qu'il avoit laissées près de Bourges, et dans le courant de 1796, il s'avança vers le midi d'environ cinquante

(1) Latitude du signal de la tour de Dunkerque, déterminée par M. Delambre, 51° 2′ 10″.

Base du Système métrique, etc., tome 2, page 295.

(2) Latitude de Perpignan déterminée par Méchain, 42° 41′ 53″.

Ibid., tome 2, page 502.

mille toises. Les deux astronomes consacrèrent encore l'hiver de 1797 à faire simultanément et avec les précautions qui leur étoient ordinaires, les observations des latitudes d'Evaux (1) et de Carcassone (2), et telle fut leur exactitude, que la déclinaison de l'étoile polaire conclue de leurs résultats séparés, se trouva la même à moins d'un cinquième de seconde.

Vers le commencement d'avril de 1797, M. Delambre sortit d'Evaux, et se remit en campagne pour continuer ses opérations sur douze stations qui lui restoient encore. Elles furent toutes achevées le 27 août 1797. Son dernier angle fut mesuré à Rodez, terme auquel il devoit s'arrêter. Il ne restoit plus alors à Méchain, pour arriver au même point, que neuf ou dix stations; déjà tous ses signaux étoient placés; il avoit tout disposé, afin de terminer avant l'hiver la portion qui lui étoit échue; mais l'inconstance du ciel, les difficultés imprévues des localités, et sa santé qui s'étoit affoiblie, trompèrent ses espérances. Il avoit été arrêté deux mois entiers dans la montagne Noire, située à une distance d'environ douze mille toises au nord de Carcassone, sans pouvoir y trouver deux heures de suite pour observer. Il étoit douloureusement affecté de voir reculer encore le terme de ses opérations; mais il annonçait la ferme résolution de ne point quitter le lieu de ses stations avant de les avoir terminées.

---

(1) Latitude d'Evaux déterminée par M. Delambre, 46° 10′ 42″.
Base du Système métrique, etc., tome 2, page 471.

(2) Latitude de Carcassone déterminée par Méchain, 43° 12′ 54″.
Ibid., tome 2, page 489.

M. Delambre à qui cette résolution étoit connue, ne réitéra point l'offre qu'il lui avoit précédemment faite, de marcher à sa rencontre au-delà des limites assignées, jusqu'à l'entière jonction de leurs triangles. Il quitta Rodez et revint à Paris se préparer à la mesure des bases de Melun et de Perpignan. Dans le mois de septembre 1797, il détermina, de concert avec M. Laplace, les deux extrémités de celle de Melun, qui, n'étant pas visibles l'une pour l'autre, nécessitèrent des travaux préparatoires qui ne furent achevés qu'au bout de six semaines.

Quiconque établiroit une comparaison entre des mesures ordinaires de longueur, prises sur le terrein au moyen d'une chaîne et de quelques jalons plantés de distance en distance, et la mesure d'une base qui doit servir de fondement à celle des degrés terrestres, n'auroit qu'une idée très-imparfaite de cette espèce d'opération et des difficultés qu'elle présente. Dans les premières, il suffit d'une grossière approximation qui n'exige que des précautions communes et des connaissances bornées. La seconde doit tenir compte des parties presque insensibles de l'espace, et pour atteindre à cette précision si difficile, le géomètre appelle à son secours les sciences et les arts réunis ; il a besoin de l'habileté d'un grand artiste pour la construction des instrumens, de la sagacité du chimiste et du physicien pour les expériences qui doivent constater la dilatation des métaux, et faire évaluer avec une grande justesse les moindres variations de température ; il a besoin des ressources de l'analyse, de la connoissance approfondie de toutes les méthodes géométriques ; souvent il a besoin de s'en créer lui-même pour les opposer aux obstacles qu'il rencontre.

Toutes les précautions qui pouvoient assurer la mesure

la plus exacte des deux bases, furent prises, pour ainsi dire, avec surabondance. Les grandes règles de platine qui devoient être employées pour cet objet, furent exécutées avec un soin particulier, sous les yeux et d'après les idées de *Borda*. Elles étoient au nombre de quatre, de deux toises de long, d'environ six lignes de large, et d'une ligne d'épaisseur. Chacune d'elles étoit recouverte jusqu'à six pouces de l'une des extrémités, d'une lame de cuivre fixée à l'autre extrémité, et libre de s'étendre par l'effet de la dilatation, le long de la règle de platine.

Le rapport des dilatations des deux métaux étoit connu par les expériences multipliées de Borda, Lavoisier et M. Lenoir. Si le cuivre se dilatoit, il indiquoit une dilatation proportionnelle dans le platine, et formoit un thermomètre métallique qui portoit la précision au-delà des cent millièmes de la toise.

Les règles, à cause de leur peu d'épaisseur, auroient pu fléchir ou se courber; mais pour les maintenir dans une direction toujours rectiligne, elles étoient portées sur des pièces de bois solides, bien dressées; un toit les recouvroit et les mettoit à l'abri des rayons du soleil, afin que le cuivre et le platine fussent ensemble dans tous les instans sous l'influence de la même température, condition nécessaire à la justesse des thermomètres métalliques.

Des pointes de fer, disposées convenablement sur chaque toit, et qui devoient se projeter sur une mire placée à une distance de cent toises, servoient encore à l'alignement des règles. Les moindres chocs dans leur contact, auroient pu causer de légers déplacemens, qui, souvent répétés, pouvoient produire des erreurs considérables. Pour les éviter, les règles placées à la suite les unes

des autres, devoient laisser entre elles un petit intervalle; une languette ou petite règle de platine dont l'extrémité antérieure (1) de chaque règle étoit garnie, et qui, posée légérement, devoit glisser sans obstacle entre deux coulisses, étoit destinée à remplir l'intervalle, ainsi qu'à le mesurer; on pouvoit y lire le nombre des divisions qu'elle contenoit même en dix millièmes de la toise.

L'une des règles avoit été comparée par un grand nombre d'expériences qui ne laissoient pas des cent millièmes de toise d'incertitude, avec la toise de l'Académie, connue sous le nom de *toise du Pérou*. Cette règle, le type des trois autres, celle à laquelle toutes les longueurs furent réduites, prit le nom de *module;* elle étoit égale à la double toise du Pérou, à la température de 13 degrés du thermomètre de Réaumur.

Les règles étant prêtes et l'alignement tracé, de manière que ses petites déviations ne pouvoient pas produire dans sa longueur l'erreur de la huit centième partie d'une toise, M. Delambre commença sa mesure le 24 avril 1798, et la continua sans interruption jusqu'au 3 juin. Quarante jours furent consacrés à cette mesure; M. Delambre et ses coopérateurs les remplirent par un travail assidu, et cependant le résultat de chaque journée n'a jamais pu passer la mesure de trois cent soixante mètres; mais que de soins, que d'attentions scrupuleuses n'exigeoient pas tous les détails de leurs opérations! Observation exacte du point de départ, jusqu'à tenir compte

(1) On apelloit extrémité antérieure celle qui étoit la plus avancée, c'est-à-dire la plus éloignée du point où l'on avoit commencé la mesure.

de la demi-épaisseur d'un fil (1); alignemens des règles; observations de leur inclinaison et leur réduction à l'horizon, fixation juste du terme où l'on s'arrêtoit chaque jour, afin de pouvoir recommencer le lendemain au même point, examen de la mesure des intervalles laissés entre les règles, de l'état et de la marche des thermomètres métalliques, comparés avec les thermomètres ordinaires, inscription de toutes les opérations sur un double registre.

L'inclinaison des règles par rapport à l'horizon étoit mesurée d'une manière simple et facile, au moyen d'un niveau très-ingénieux de l'invention de Borda. L'équerre à laquelle il l'avoit adapté, indiquoit leur moindre écart du plan horizontal, par la quantité dont la bulle étoit dérangée (2). Ici nous devons payer à ce savant illustre un juste tribut d'éloges; il mérite une grande part à la gloire que peut donner à ses auteurs la mesure de la méridienne, qu'il a toujours animée par son zèle, et dont il a facilité l'exécution par son génie; c'est à lui, c'est aux instrumens qu'il a créés et perfectionnés pour cette grande opération, que l'on doit la précision étonnante à laquelle elle est parvenue.

Après l'application des règles sur toute la longueur de la base, elle s'est trouvée à peu de distance de son milieu, du côté du terme austral, composée de deux lignes droites qui formoient un angle très-voisin de deux droits; elles

(1) « La règle n° 1 étoit d'abord placée dans la direction de la base, de » manière qu'un fil à plomb tangent à l'extrémité de la règle, tomboit » exactement sur le point du départ. Ainsi il faudra tenir compte de la » demi-épaisseur du fil au point de contact. »

Base du Système métrique, etc., tome 2, page 20.

(2) *Base du Système métrique, etc.*, tome 2, page 10.

ont été réduites à une seule par le calcul de l'excès de la somme des deux côtés d'un triangle sur le troisième.

Mais cette ligne droite, la corde d'un arc, n'étoit pas la base véritable; elle étoit élevée au-dessus de la surface des mers; elle a été ramenée à ce niveau constant, et la corde réduite en arc a donné pour la base horizontale 6075,toises90.

M. Delambre songea ensuite à mesurer sans délai la base de Perpignan. Un motif puissant le pressoit d'accélérer cette mesure : c'étoit le congrès prochain des savans de l'Europe, dont la France invoquoit et les suffrages et les lumières; ils étoient appelés à sanctionner une vaste entreprise, à l'aider de leurs travaux, ou bien à la réformer par leurs conseils. L'époque fixée pour cette grande réunion étoit la fin de septembre 1798; elle étoit aussi le terme au-delà duquel les opérations des deux astronomes ne pouvoient plus guères se prolonger. M. Delambre partit donc de Paris vers le commencement de juillet, arriva le 22 à Perpignan, et s'occupa sur-le-champ de sa dernière opération, qui fut terminée le 22 septembre de la même année.

La mesure de la base de Perpignan, exécutée avec les mêmes soins et les mêmes précautions que celle de Melun, fut trouvée, après les mêmes réductions, de 6006,toises25. La base de Perpignan déduite de celle de Melun, située à soixante-six myriamètres, ou cent soixante lieues de la première, ne différa de sa mesure directe que de dix à onze pouces. La différence entre la mesure directe de l'ancienne base de Perpignan et sa mesure déduite de la base de Juvisi, s'étoit élevée en 1718, jusqu'à deux cent seize pouces. On peut juger par là du degré d'exactitude de la nouvelle mesure de la méridienne, comparée avec l'ancienne.

La mesure des deux bases étant achevée, M. Delambre se rapprocha de Carcassone. Méchain vint l'y rejoindre vers le commencement de novembre, après avoir terminé toutes ses opérations; ils partirent ensemble pour Paris, où ils arrivèrent vers la fin du même mois.

Déjà les savans étrangers, qui la plupart avoient devancé l'époque de la réunion, attendoient les résultats de leurs travaux. Bientôt cet illustre aréopage alloit se former pour les examiner et les revêtir d'une sanction éclatante et glorieuse. Jamais chez aucun peuple ancien et moderne, n'avoit été convoquée une assemblée aussi imposante de savans de tant de pays différens; jamais n'avoit été formé pour éclairer une opération de ce genre, un semblable faisceau de lumières.

Nous devons dire ici les noms de ces hommes choisis, des envoyés des nations alliées ou neutres, qui devoient concourir à la détermination définitive de l'unité fondamentale des mesures. Les envoyés d'Espagne furent MM. Ciscar et Pedrayes; du roi de Sardaigne, M. Balbo, remplacé ensuite par M. Vassalli, député du Piémont; du roi de Danemarck, M. Bugge; de Toscane, M. Fabbroni; de Rome, M. Franchini; de Milan, M. Mascheroni; de Gênes, M. Multedo; de la république Helvétique, M. Trallès; de la Hollande, MM. Œnée et Van-Swinden.

Parmi les savans français, devoient se trouver MM. Berthollet, Borda, Brisson, Coulomb, Darcet, Haüy, Lagrange, Laplace, Lefevre-Gineau, Legendre, Méchain, Delambre, Monge, Prony et Vandermonde.

Un jour ces noms seront recueillis par nos derniers neveux; ils regretteront sans doute de n'y point voir ceux des savans de plusieurs nations célèbres dans les sciences,

sciences, de n'y point trouver la patrie du grand Newton, associée aux travaux astronomiques de la mesure universelle; ils gémiront sur les causes funestes qui coalisèrent tant de peuples contre la France, sur les haines et les rivalités qui désunirent deux nations les plus dignes de s'estimer mutuellement. Ce sont les seuls regrets qui pourroient se mêler à leur reconnoissance.

Peu de temps après l'arrivée des deux astronomes, les savans français et étrangers commencèrent à se réunir en assemblées générales, dans lesquelles on donna une connoissance de tous les instrumens dont on avoit fait usage, et des principes d'après lesquels ils avoient été construits. Ils se partagèrent ensuite en différentes sections.

La première, composée de MM. Van-Swinden, Trallès, Laplace, Legendre, Ciscar, Delambre et Méchain, étoit chargée spécialement de la détermination du quart du méridien et de la longueur du mètre.

La seconde, composée de MM. Multedo, Vassali, Coulomb, Maschéroni et Méchain, étoit chargée de la vérification des règles et de la fixation exacte de leurs rapports avec les toises du nord, du Pérou, et celle de Mairan, devenues célèbres dans les annales des sciences physico-mathématiques, les deux premières, pour avoir servi dans les mesures des degrés terrestres, exécutées par les Français au nord et vers l'équateur, et la troisième, par les expériences de Mairan sur la longueur du pendule, et l'usage qu'en firent Boscovich et Lemaire dans la mesure du degré de Rome.

La troisième section, composée de MM. Trallès, Vassali, Coulomb, Maschéroni, Van-Swinden, Lefèvre-Gineau et Fabbroni, étoit chargée du travail concernant l'unité de poids. Ce travail, dont on ne peut concevoir

toutes les difficultés que par des détails qui ne peuvent entrer dans cette histoire, avoit été préparé par un grand nombre d'expériences dans lesquelles M. Lefèvre-Gineau avoit développé toutes les ressources d'un talent supérieur, et qui furent encore vérifiées avec le plus grand soin par M. Fabbroni de Florence, qui lui fut adjoint comme coopérateur.

Les membres de la première section examinèrent d'abord jusques dans ses moindres détails la mesure des deux bases, la nature des instrumens, le degré de confiance qu'ils méritoient, les précautions prises pour en faire usage, la marche des opérations, les registres dans lesquels elles étoient chaque jour consignées, les réductions à l'horizon, au niveau de la mer, à la température moyenne de treize degrés du thermomètre de Réaumur, ou de seize degrés et un quart du thermomètre centigrade. Ils s'assurèrent enfin de l'accord des deux bases et les adoptèrent telles que nous les avons rapportées ci-dessus, pour servir de fondement au calcul de la méridienne.

Ils passèrent ensuite à l'examen des triangles dont ils comparèrent les séries; ils arrêtèrent le tableau de ceux qui devoient être adoptés, en firent les calculs séparément et par différentes méthodes, afin d'obtenir par leur accord la certitude des résultats; et après avoir porté l'attention la plus sévère sur les observations azimutales faites à Vatten (1), Bourges, Carcassone et Mont-Jouy,

(1) Les observations azimutales ont été faites à Vatten, à Paris et à Bourges par M. Delambre, à Carcassone et à Mont-Jouy par Méchain. Les observateurs ont mis beaucoup de soin dans ces sortes d'observations, et les ont multipliées, parce qu'ils ont pensé qu'elles pouvoient donner quelques

ils calculèrent la longueur de l'arc terrestre qu'ils trouvèrent de 275792 modules et 36 centièmes, et correspondant à un arc céleste de 9°, 6738 qui fut déterminé par les observations des latitudes faites à Dunkerque, Paris, Evaux, Carcassone et Mont-Jouy.

Le quart du méridien, l'objet principal de tant de travaux, ne pouvoit être encore déduit rigoureusement de l'arc terrestre mesuré sans la détermination préalable de l'ellipticité de la terre. Le meilleur moyen de la connoître avec exactitude, étoit de comparer deux des plus grands arcs mesurés avec le plus de soin, et qui se trouvoient à la plus grande distance l'un de l'autre. L'arc qui venoit d'être déterminé en France par M. Delambre et Méchain, et celui qui fut mesuré vers l'équateur, de 1736 à 1742, réunissoient ces conditions. Leur comparaison donna pour l'aplatissement de la terre $\frac{1}{334}$ (1), d'où la grandeur du quart du méridien fut conclue de 2565370 modules, ou de 5130740 toises, et sa dix-millionième partie ou le mètre de $\frac{256537}{1000000}$ parties du module ou de 443 lignes et $\frac{296}{1000}$.

Chacune des trois sections fit un rapport séparé sur l'objet dont elle avoit été chargée. Un rapport général sur toutes les parties fut fait à l'Institut national.

Ce sont des étrangers à qui les savans français cédèrent

---

nouvelles lumières sur la figure de la terre, en comparant les azimuts calculés avec les azimuts observés, qui devoient se trouver d'accord si les parallèles sont des cercles, et présenter des résultats différens, s'ils sont aplatis comme les méridiens.

Base du Système métrique, etc., tome 2, page 157.

(1) En recommençant les calculs de l'arc du Pérou et faisant concourir les observations de la Condamine avec celles de Bouguer, M. Delambre a trouvé $\frac{1}{63}$.

l'honneur d'être les organes de la Commission des poids et mesures. M. Trallès, envoyé de la république Helvétique et M. Van-Swinden, député Batave, rendirent compte de ses travaux, le premier, sur l'unité de poids, le second, sur la mesure de l'arc du méridien. M. Van-Swinden, qui fut ensuite chargé de former un tout de ces deux parties séparées, fondit avec beaucoup d'ordre et de clarté le discours de son collègue et le sien. C'est à la suite de ce compte rendu que furent présentés solemnellement au Corps-Législatif, et déposés dans les archives nationales, les modèles des deux nouvelles mesures, le *Mètre* et le *Kilogramme*.

C'est par les moyens que nous venons d'exposer que fut pris dans la nature le type de la mesure universelle, dont le vœu s'étoit en vain renouvelé depuis tant de siècles; c'est pour elle que s'est exécutée, au milieu des plus grands obstacles, la plus belle entreprise qui jamais ait été formée sur la mesure de la terre.

Mais quoi! dira-t-on, c'est pour obtenir une barre de métal d'une certaine dimension que tant d'expériences ont été faites, des instrumens construits avec tant de soin; c'est pour elle qu'il a fallu parcourir de vastes régions, bâtir des observatoires, gravir les rochers les plus escarpés; et si par quelque révolution physique ou morale, le fruit de tant de travaux, le type de la mesure universelle venoit à s'anéantir, si la matière qui la compose étoit frappée de la foudre et réduite en fusion, coûteroit-il encore, pour la retrouver, les mêmes fatigues et les mêmes sacrifices? Telle est l'objection spécieuse qui peut être faite contre la mesure de la méridienne.

Une telle entreprise ne se borne pas, comme nous l'avons déjà dit, au seul avantage d'établir la base du

système métrique ; elle est encore liée aux questions les plus importantes de la Physique céleste.

Quant à la destruction supposée du type général des mesures, quoique sa destruction soit infiniment peu probable, il suffit qu'elle soit possible pour avoir été prévue. Les précautions sont prises ; la perte du mètre ne seroit que momentanée. La longueur précise du pendule qui bat les secondes dans un lieu déterminé, suffit pour le retrouver ; il en est le conservateur indestructible, il peut y ramener comme objet de comparaison. Des expériences nombreuses sur celui qui bat les secondes à Paris, ont donc été faites et discutées avec une admirable sagacité par Borda, et par un résultat moyen, qui ne s'écartoit pas d'un cent millième des résultats de vingt expériences différentes, sa longueur a été trouvée de $\frac{2540919}{10000000}$ du module ; ainsi le pendule et son rapport avec le mètre, pourroient rédonner aux hommes cette unité fondamentale, s'ils venoient à la perdre. Des expériences semblables ont été faites sous d'autres degrés de latitnde, et la durée du mètre est devenue égale à celle du monde.

Les détails de l'opération importante dont je viens d'esquisser rapidement le tableau, méritoient d'être conservés. M. Delambre s'est acquis un nouveau titre à la reconnoissance de la postérité, comme à celle de ses contemporains, en les consignant avec beaucoup d'ordre dans un ouvrage très-étendu, qui peut être d'ailleurs regardé comme un dépôt précieux des connoissances nécessaires à ceux qui seroient appelés à l'exécution de pareilles entreprises.

Article III.

OPÉRATIONS FAITES EN ESPAGNE,

POUR LA PROLONGATION DE LA MÉRIDIENNE DE FRANCE

JUSQU'AUX ILES BALÉARES.

L'opération de la méridienne, telle qu'elle avoit été d'abord conçue, devoit être terminée auprès de Barcelone; mais le projet que Méchain avoit formé depuis long-temps de la prolonger jusqu'aux îles Baléares, étoit assez important pour être exécuté. Cette nouvelle extension devoit placer le milieu de l'arc sur le parallèle moyen entre le pôle et l'équateur, et servir à calculer le quart du méridien sans aucune hypothèse sur l'aplatissement de la terre. La mesure d'un plus grand arc promettoit aussi dans le résultat définitif une plus grande précision.

Frappé de ces avantages, Méchain étoit fortement attaché au projet de la prolongation; il en avoit réclamé et commencé l'exécution. Déjà même il avoit conduit ses triangles jusqu'à Tortose, choisi des stations jusqu'à Ivice, fait plusieurs observations près de Valence, lorsqu'il mourut victime de son dévouement à l'Astronomie, au milieu de ses travaux, qu'il ne voulut jamais abandonner, malgré les dangers qui le menaçoient dans un pays infecté par des vapeurs contagieuses. C'est ainsi que Chappe dans la Californie, après avoir observé le passage de Vénus, affronta les dangers d'une funeste épidémie et paya de sa vie l'observation d'une éclipse qu'il ne vouloit pas manquer.

La mort de Méchain suspendit pendant trois ans les opérations commencées au-delà de Barcelone; mais un

Souverain, qui ne laisse imparfaite aucune de celles qui peuvent être utiles aux sciences, ordonna qu'elles fussent reprises. Le Bureau des longitudes, chargé de les surveiller, confia la prolongation projetée à MM. Biot et Arago, astronomes pleins de zèle et d'activité, doués du talent de l'observation et de toutes les connoissances nécessaires pour la conduire heureusement à son terme. Le gouvernement espagnol leur adjoignit deux jeunes mathématiciens capables de les seconder, MM. Chaix et Rodriguez.

Cependant les deux collaborateurs trouvèrent, à leur arrivée en Espagne, de grands obstacles à surmonter. Ils étoient sous un ciel nouveau où tout leur étoit étranger, mœurs, coutumes et langage. Ils avoient à parcourir la chaîne de montagnes qui devoit être le théâtre de leurs opérations, à reconnoître les stations de Méchain, à rassembler ses instrumens épars.

Il se présentoit un obstacle encore plus grand, qui seul pouvoit faire échouer l'entreprise, c'étoit la jonction de l'île d'Ivice à la côte d'Espagne, jonction qui ne pouvoit s'effectuer que par la formation d'un triangle immense, dont le sommet seroit dans l'île et la base sur le continent, et dont un des côtés seroit d'environ trente-cinq lieues, et l'autre de quarante-et-une. Comment observer à de si grandes distances? Quels signaux employer et quelle espérance de succès pouvoit-on concevoir? L'entreprise d'une semblable opération étoit aussi hardie que l'exécution en étoit difficile.

Pour vaincre les difficultés qu'elle présentoit, les deux astronomes s'attachèrent d'abord à faire un bon choix de stations. La première qu'ils adoptèrent étoit la même que Méchain avoit choisie sur la côte de Valence, au sommet d'une montagne connue sous le nom du *Desierto de*

las palmas. C'est là que s'établit provisoirement M. Arago, avec des cercles pour observer.

M. Biot passa dans l'île avec M. Rodriguez; ils y prirent pour un des sommets du triangle une montagne appelée *Campvey*, située un peu plus au nord que celle à laquelle s'étoit arrêté le choix de Méchain. Ils trouvèrent dans cette position l'avantage d'appercevoir vers le sud la petite île de Formentera, la possibilité de la joindre à leurs triangles et de prolonger encore la méridienne d'environ deux cinquièmes de degré. M. Rodriguez s'établit sur le sommet du Campvey, où furent placées, pour servir de signaux pendant la nuit, des lampes à courant d'air, garnies de grands miroirs de métal, propres à réfléchir la lumière.

Il ne restoit plus qu'à déterminer la troisième station. Celle que Méchain avoit indiquée étoit une colline du cap Cullera, élevée de 200 mètres. Une autre colline, appelée *le Mongo*, paroissoit devoir mériter la préférence. Elle est trois fois plus élevée que celle du cap Cullera, présente une cime isolée qui s'avance dans la mer et peut être aisément apperçue de l'île d'Ivice, par un temps serein.

M. Biot se détermina pour cette dernière position, y fit placer comme sur le Campvey, les grands réverbères qui devoient servir de signaux, et bâtir une petite maison où l'on pût se mettre à l'abri des ouragans furieux qui tourmentent le sommet escarpé de ce roc.

Ces premières dispositions étant faites, il se hâta d'aller retrouver M. Arago, au désert de *las Palmas*. Il étoit impatient de connoître les effets qu'il devoit attendre des signaux; il n'eut pas lieu d'en concevoir une idée bien favorable. M. Arago ne les avoit point encore apper-

çus

çus, quoiqu'il eût vu plusieurs fois, au coucher du soleil, les montagnes d'Ivice bien terminées, s'élever dans le lointain au-dessus de l'horizon de la mer. Les miroirs étoient-ils mal dirigés? La cabane dressée sur le Campvey étoit-elle emportée par les vents et jetée dans la mer, ou la lumière qui devoit briller dans la nuit, étoit-elle entièrement absorbée dans l'épaisseur atmosphérique qui la séparoit de l'observateur? devoit-elle être toujours invisible et l'opération impossible?

M. Biot n'étoit pas sans inquiétude sur le succès. Il étoit dépositaire d'une lettre de Méchain, dans laquelle cet excellent observateur exprimoit vivement ses doutes sur la possibilité de l'entreprise.

Cependant les deux astronomes, constans dans la résolution de la conduire à sa fin, s'obstinoient à rester sur leur rocher. Ils veilloient toutes les nuits pour chercher dans l'obscurité une foible lumière qu'ils ne pouvoient découvrir.

Ils passèrent ainsi deux mois entiers dans l'incertitude, arrêtés dès les premiers pas par un obstacle qu'ils se flattoient souvent de vaincre et regardoient aussi quelquefois comme invincible. « Combien de fois, dit » M. Biot (1), assis au pied de notre cabane, les yeux » fixés sur la mer, n'avons nous pas réfléchi sur notre » situation, et rassemblé les chances qui pouvoient nous » être favorables ou contraires! Combien de fois, en » voyant les nuages s'élever du fond des vallées et monter » en rampant sur le flanc des rochers, jusqu'à la cime

(1) *Notice sur les opérations faites en Espagne pour prolonger la méridienne de France jusqu'aux îles Baléares, par M. Biot*, pages 9 et 10.

» où nous étions, n'avons-nous pas recherché dans leurs » oscillations les présages heureux ou malheureux d'un » ciel couvert ou serein! » Qu'on se figure l'agitation que devoient éprouver deux jeunes astronomes pleins de zèle et d'ardeur, qui voyoient leur temps se consumer dans de vaines tentatives, et reculer indéfiniment le terme de leurs travaux à peine commencés.

Ils avoient presque perdu tout espoir de succès, lorsqu'ils tentèrent un dernier moyen de découvrir le signal du Campvey. Pleins de confiance sur le grand éclat qui devoit en rejaillir, ils avoient cru qu'ils pourroient aisément l'apercevoir, en promenant leur lunette au hasard sur le ciel pendant la nuit. Il la firent enfin mouvoir lentement sur le plan de leur cercle auquel ils avoient donné une situation horizontale, et l'ayant dirigée du côté de la montagne d'Ivice, qui ressembloit le plus à celle de Campvey, ils ne tardèrent pas à découvrir la lumière dont l'apparition avoit été si desirée, mais réduite par le grand éloignement à la simple apparence d'une étoile de cinquième ou sixième grandeur. Le Navigateur qui découvre la terre, après un long voyage, le géomètre qui trouve la solution d'un problème épineux, après l'avoir long-temps poursuivie, n'éprouvent pas une joie plus vive que celle que ressentirent les deux observateurs à l'aspect du signal de l'*île* d'Ivice. Leur émotion étoit telle, qu'ils ne pouvoient observer sans commettre beaucoup d'erreurs; mais leur vœu le plus cher étoit rempli; ils étoient sûrs du succès.

Ils recommencèrent bientôt leurs observations avec un nouveau courage, sans s'inquiéter des obstacles qu'apporteroient à leurs travaux les vents et la tempête, qui souvent emportoient leurs tentes et déplaçoient leurs

signaux ; ils savoient que pour venir à bout de leur entreprise, ils n'avoient plus besoin que de zèle et de constance.

Ils achevèrent toutes les opérations qu'ils avoient à faire à leur station du désert de *las Palmas*, depuis le milieu de novembre 1806, époque de la découverte du signal d'Ivice, jusqu'à la fin de janvier 1807. M. Chaix vint les y rejoindre et partager leurs fatigues et leur habitation.

S'étant ensuite transportés aux autres sommets du grand triangle, ils observèrent à chacun d'eux tous les angles dont il étoit le centre et déterminèrent la base de ce grand triangle par trois combinaisons différentes, qui donnèrent des résultats dont le plus grand écart n'étoit que de deux mètres sur 140 mille ou d'une toise environ sur 35 lieues.

Vers le mois d'avril 1807, temps auquel ils avoient achevé de mesurer les triangles des îles, M. Biot se rendit à Paris pour faire construire un nouveau cercle dont ils avoient besoin pour les observations de latitude qui devoient être faites l'hiver suivant. En l'absence de son collègue, M. Arago poursuivit, avec une ardeur qui ne fut point ralentie par les chaleurs brûlantes de l'été, la jonction des triangles du Continent avec ceux que Méchain avoit observés dans la Catalogne, et toute la chaine trigonométrique fut terminée avant la fin de l'automne.

A cette époque M. Biot reprit la route d'Espagne, rejoignit à Valence les compagnons de ses travaux et se rendit avec eux dans la petite île de Formentera, point le plus austral de l'arc. Ils y passèrent ensemble l'hiver de 1808, et déterminèrent la latitude de l'île au moyen de près de quatre mille observations tant de l'étoile polaire que de β de la petite Ourse. Ils déterminèrent aussi l'azimut

ou l'inclinaison que forme sur la méridienne le dernier côté du dernier triangle, au moyen d'un grand nombre de passages d'étoiles observées à la lunette méridienne.

C'est par ces diverses opérations que les deux astronomes associés par la confiance du Bureau des longitudes, à la plus belle entreprise qui jamais ait été conçue sur les mesures terrestres, ont eu l'avantage de l'achever d'une manière digne de leurs prédécesseurs. Ils ont surmonté par leur constance infatigable, autant que par leur habileté, un obstacle extraordinaire, celui de la jonction des côtes d'Espagne aux îles Baléares. Ils ont même entrevu la possibilité d'étendre leur chaîne trigonométrique sur la Méditerranée et les côtes d'Afrique, et de prolonger la méridienne de France jusqu'au sommet du mont Atlas (1).

L'arc mesuré par Méchain et M. Delambre étoit de 9°,6738. Il a été prolongé par les opérations de leurs continuateurs jusqu'à 12°,3704 ou 13°,744875 de la division décimale. En multipliant ce nombre de degrés par les cent mille mètres que contient chaque degré décimal, ils auroient obtenu le nombre de mètres que devoit contenir l'arc mesuré, si la terre étoit exactement sphérique; ayant donc fait à ce nombre la réduction qu'exige l'aplatissement de la terre $\frac{1}{305}$ donné par la Théorie de la lune, ils ont trouvé pour la distance entre Dunkerque et Formentera, un résultat qui ne diffère de celui que donnent les mesures des triangles, que de 41 centièmes de mètre (1),

(1) *Notice sur les opérations faites en Espagne, etc.*, page 18.

(2) Distance entre Dunkerque et Formentera corrigée d'après l'aplatissement de la terre $\frac{1}{305}$ 1374439m., 13
La même distance calculée d'après les mesures des triangles est de 1374438,72
Différence entre les deux évaluations 0,41

ou de 1pi. 3pou. 1li., différence si petite qu'elle devoit être inattendue, après une suite aussi longue d'opérations, tant astronomiques que géodésiques, qui s'étendent dans un espace de plus de 312 lieues. Ainsi la méridienne, et sa prolongation qui ne change d'ailleurs la longueur du mètre que d'une quantité presque insensible (1), confirment réciproquement l'une par l'autre, l'exactitude de leurs mesures, d'une manière aussi surprenante qu'honorable pour les observateurs, et contribuent à donner la plus grande probabilité à l'aplatissement de la terre, déduit des inégalités lunaires.

Le pendule par son rapport avec le mètre peut être regardé, ainsi que nous l'avons déjà dit, comme le conservateur indestructible du type général de nos mesures. Il est aussi très-intimement lié à la théorie de la figure de la terre ; c'est par cette double raison que les deux observateurs ont cru devoir joindre à leurs opérations plusieurs expériences sur sa longueur, qu'ils ont observée avec beaucoup de soin à Formentera. Le résultat qu'ils ont obtenu, peu différent (2) du résultat déduit de l'ensemble des observations faites à différentes latitudes, et discutées dans la Mécanique céleste, paroît prouver

(1) Longueur du mètre conclue de la première mesure entre Dunkerque et Barcelonne 443li.,2960
Longueur du mètre conclue de la mesure totale entre Dunkerque et Formentera 443, 2958
Différence 0,0002

(2) Résultat moyen déduit de l'ensemble de dix expériences sur la longueur du pendule faites à Formentera 0,7412061
Cette longueur déduite de la théorie exposée dans le second volume de la Mécanique céleste, et réduite à la même latitude, est 0,7411445
Différence 0,0000616
Cette différence revient à 6 centièmes de millimètres ou à $\frac{1}{13}$ de ligne

que les irrégularités de la figure de la terre sont peu sensibles dans la longueur du pendule.

Si l'on ajoute aux expériences faites sur cette longueur à Formentera, celles de Borda faites à Paris et confirmées par les dernières observations (1) de MM. Bouvard, Biot et Mathieu, et celles qu'ont répétées les deux derniers astronomes à Bordeaux, à Figeac, à Clermont et à Dunkerque, on ne trouvera plus rien à desirer sur la conservation du mètre et l'aplatissement (2) de la terre déduit de ces sortes de mesures.

Les deux continuateurs de la méridienne avoient encore résolu de couronner cette grande opération par la mesure d'un arc de parallèle de trois degrés. Ils espéroient pouvoir déterminer ainsi plus complètement la courbure du sphéroïde terrestre à l'extrémité méridionale de l'arc, et reconnoître si les parallèles approchent de la figure elliptique ou de celle du cercle.

C'est dans les loisirs de leur station de Campvey qu'ils avoient formé ce nouveau projet. C'est de sa cime élevée qu'ils avoient reconnu la possibilité de joindre Mayorque à la côte d'Espagne, en s'appuyant sur les îles d'Ivice et de Formentera; mais les événemens publics n'ont pas permis que cette opération fût achevée. Elle étoit déjà fort avancée, lorsque les troubles d'Espagne l'ont

(1) Longueur moyenne du pendule déterminée à Paris par MM. Bouvard, Biot et Mathieu.......... 0,7419070

Longueur moyenne du pendule déterminée à Dunkerque par MM. Biot et Mathieu.......... 0,7420866

(2) Aplatissement de la terre déduit des observations du pendule rapportées ci-dessus.......... $\frac{1}{306}$,

Aplatissement déduit par M. Laplace, de l'ensemble d'un grand nombre d'expériences faites sur le pendule à différens degrés de latitude. $\frac{1}{321}$,

tout-à-coup interrompue. Cette interruption subite est même devenue pour M. Arago l'époque d'une suite de traverses peu ordinaires.

Il étoit avec M. Rodriguez, sur une haute montagne de Mayorque, pour observer les signaux de l'île d'Ivice, lorsque le bruit se répand parmi le peuple que ces signaux n'ont d'autre but que d'appeler l'ennemi, de lui montrer la route qui doit le diriger vers l'île. On crie à la trahison; les jours de M. Arago sont menacés; il est obligé de fuir sous l'habit d'un paysan de Mayorque. Poursuivi par des fanatiques, il est arrêté, enfermé pendant plusieurs mois dans une citadelle. Il en sort par les vives sollicitations de son collaborateur et de son ami, M. Rodriguez, mais c'est pour être jeté sur les côtes d'Afrique. Il y trouve un appui dans le consul de France à Alger, s'embarque pour revenir dans sa patrie, et lorsqu'il est à la vue du port de Marseille, le navire algérien qui le portoit est enlevé par un corsaire espagnol. Le navire réclamé et rendu fait encore voile pour la France; mais, près d'entrer dans le port, il est jeté par une tempête sur les côtes de la Sardaigne. Il évite, en courant les plus grands dangers, ces côtes ennemies, regagne l'Afrique avec peine, en faisant une voie d'eau considérable. Il est près de périr, lorsqu'il aborde dans un petit port à six journées d'Alger.

Ce pays étoit alors le théâtre d'une révolution. Le dey, tué dans une émeute, venoit d'être remplacé par un autre. Une surveillance rigoureuse étoit exercée dans tous les ports de la régence. M. Arago, sous un habit musulman, se rend par terre à Alger, à travers des montagnes, réclame de nouveau l'appui du consul de France étonné de le revoir. Il en est accueilli favorablement. Il attend

pendant six mois une occasion de retour. Il s'embarque enfin avec le consul lui-même sur un vaisseau de guerre algérien, accompagné de plusieurs bâtimens de commerce. Une division anglaise les rencontre; sommés de se rendre, ils cèdent à la force. Le vaisseau seul où se trouvoit M. Arago, échappe à ce nouveau danger. Porté par un coup de vent favorable, il entre heureusement dans le port de Marseille. Telles sont les aventures qui terminèrent les travaux de M. Arago pour la méridienne. Le paisible ami des sciences, animé du desir de les rendre utiles, est donc aussi quelquefois exposé aux mêmes dangers que l'ambitieux qui court après la fortune.

Si l'on examine maintenant les opérations sur la mesure de l'arc du méridien, exécutées tant en France qu'en Espagne, on y découvre un phénomène digne de l'attention des astronomes et des géomètres, c'est le décroissement irrégulier des degrés terrestres du pôle à l'équateur (1). On a remarqué que leur diminution très-lente de Paris à Evaux devient beaucoup plus rapide d'Evaux à Carcassone, et se ralentit ensuite de Carcassone à Mont-Jouy. Ces variations sont elles dépendantes des irrégularités mêmes des méridiens? annoncent-elles dans l'intérieur de la terre des masses d'une inégale densité, et par conséquent sur le fil à plomb, des influences inégales? Quel est le degré de confiance que peuvent inspirer les observations des latitudes? Il est très-possible que des attractions locales et peut être aussi d'autres causes, influent puissamment sur nos mesures et ne permettent à notre active industrie qu'une exactitude très-limitée. Ne pourroit-on

(1) *Mémoires de l'Institut*, tome 2, page 50.

pas

pas du moins le présumer avec beaucoup de fondement d'après la nouvelle mesure (1) d'un arc de près de trois degrés exécutée en Angleterre, où le degré méridional est d'environ quatre-vingts toises plus grand que le degré boréal, mesure qui renverseroit les théories de la figure de la terre, s'il ne restoit aucun doute sur son exactitude. Nous cherchons à pénétrer dans le sein de la nature; elle nous présente sans cesse des exceptions à ses lois générales; c'est Protée qui nous échappe sous la multitude infinie de ses formes variées.

Cependant c'est par le grand nombre de faits accumulés que sont connues les causes des exceptions et dissipées les incertitudes qu'elles ont produites; c'est par eux que triomphent toujours les principes de toute saine théorie. Il est donc à desirer que plusieurs grands arcs terrestres soient mesurés sur différentes parties du globe, avec les nouveaux moyens d'exécution découverts en France. Embrassée ainsi dans son contour par des portions de méridien exactement déterminées et même par des arcs de parallèle à l'équateur, la terre se trouveroit, pour ainsi dire, placée dans la main du géomètre et plus immédiatement soumise à ses calculs.

Les Français viennent de faire sur cet objet tout ce

---

(1) M. Mudge vient de mesurer en Angleterre un arc de 2° 50′ 23″, 38, qu'il a partagé en deux autres, l'un de 1° 36′ 19″, 98 et l'autre de 1° 14′ 3″, 40. Il a trouvé 60864 fathoms ou toises anglaises pour le degré dont la latitude moyenne est de 51° 36′ 18″, et seulement 60776 pour le degré dans la latitude moyenne est de 52° 50′ 30″.

Base du Système métrique, etc., tome 2, page 619.

que pouvoit comporter leur position géographique; ils ont même prolongé leurs opérations bien loin au-delà des limites de leur territoire; les Pyrénées se sont abaissées devant eux. D'autres peuples pourront former des entreprises de cette nature. De grandes chaînes de triangles pourroient s'étendre du golfe de Riga au golfe de Lépante, de celui de Finlande à la mer de Marmara, de la mer Blanche à la mer Noire. Il seroit d'un grand intérêt pour les sciences de pouvoir comparer les degrés des méridiens sous le même parallèle, et de résoudre par le fait la question de leur ressemblance ou de leur dissimilitude. Il seroit aussi d'un égal intérêt de mesurer de grands arcs terrestres dans l'hémisphère austral; mais ces vastes entreprises présentent de grands obstacles dans l'exécution; elles exigent le concours de plusieurs souverains. La Russie seule pourroit, sans l'accession d'aucune autre puissance, étendre dans ses vastes domaines, ainsi que l'avoit proposé de L'isle en 1737 à l'Académie de Pétersbourg, trois grandes méridiennes, dont chacune seroit à peu près égale au quart de la distance du pôle à l'équateur.

Ces projets qu'ont arrêtés sans doute de grands intérêts politiques et des guerres continuelles, peuvent être aujourd'hui renouvelés avec quelque apparence de succès. Une grande impulsion est donnée à l'Europe par l'homme de génie qui préside aux destinées de la France, et le souverain qui règne sur la Russie est ami des sciences et de la gloire des entreprises qui caractérisent unea me élevée. Cependant si ces immenses travaux doivent honorer le siècle présent, ce ne peut être qu'au sein d'une profonde paix, lorsque l'Europe, sous des auspices plus

favorables, se sera reposée quelques temps de ses longues dissentions.

Article IV.

OPÉRATIONS FAITES EN LAPONIE

POUR LA DÉTERMINATION D'UN ARC DU MÉRIDIEN.

Après les opérations faites en France et en Espagne, pour la mesure de l'arc du méridien compris entre les parallèles de Dunkerque et de Formentera, celles qui viennent d'être faites en Laponie par des astronomes suédois, dans les premières années du dix-neuvième siècle, méritent une attention particulière, autant par leur exactitude que par les rapports qu'elles ont avec les mesures déterminées dans les mêmes lieux, en 1736, par des astronomes français.

En comparant les différens degrés de latitude mesurés sur le globe terrestre, M. Melanderhjelm, habile géomètre suédois, ancien professeur d'astronomie à l'Université d'Upsal et secrétaire de l'Académie de Stockholm, frappé de l'accroissement brusque et rapide de celui du nord, conçut des doutes sur la validité de sa mesure, non pas qu'il rejetât les erreurs dont il la croyait affectée sur un défaut de lumières et de soins de la part des hommes qui l'ont exécutée, mais sur l'âpreté du climat auquel ils n'étoient point habitués, sur les dérangemens possibles de leurs instrumens qu'ils étoient obligés de transporter sur des montagnes, au milieu des neiges, dans des temps horribles, sur quelque légère inflexion occasionnée par les voyages, dans le grand secteur employé pour les observations des latitudes, sur quelque défaut insen-

sible qu'il pouvoit avoir dans sa construction ; car à cette époque l'on n'avoit pas encore atteint dans cette partie le même degré de perfection qu'aujourd'hui.

Il pensa même que le fil à-plomb du secteur pouvoit avoir été dérangé dans les observations par les attractions de quelques chaînes de Montagnes situées vers les extrémités de l'arc mesuré.

Après avoir réfléchi quelque temps sur les causes des erreurs présumées du degré de Laponie, il conçut l'idée de proposer une nouvelle mesure, qui seroit exécutée avec des instrumens plus parfaits que les anciens, et dans laquelle seroient mises en usage toutes les méthodes que l'expérience et le temps avoient perfectionnées; il commença donc par engager M. Svanberg, directeur de l'Observatoire de l'Académie des sciences de Stockholm, qui devoit, en 1799, faire un voyage à Torneo sa patrie, à retrouver, s'il étoit possible, quelques vestiges de la mesure de 1736, à reconnoître les stations choisies par les astronomes français, à calculer enfin l'influence qu'ont pu exercer les montagnes situées aux extrémités de l'arc mesuré sur la déviation du fil à-plomb dans le secteur.

M. Svanberg, plein de zèle pour tout ce qui pouvoit contribuer aux progrès de l'Astronomie, s'engagea volontiers à suivre les idées de M. Mélanderhjelm. Il partit vers le commencement du printemps de l'année 1799, avec les instrumens dont il avoit besoin pour le nouvel objet de son voyage.

Ce savant transplanté des confins d'un pays à demi-sauvage dans une capitale, la résidence des rois de Suède, revit sans doute avec plaisir les contrées presque désertes qui l'avoient vu naître, et parcourut avec l'intérêt qu'ins-

pire l'amour des sciences, ces lieux célèbres où d'illustres géomètres du midi n'avoient pas craint, pour mesurer la terre, de venir affronter les glaces du nord : c'étoient ces mêmes lieux qu'il interrogeoit sur leur ancienne opération ; il y cherchoit les pas de ces savans dont les noms immortels sont parvenus au-delà du cercle polaire.

D'après les observations et les calculs de M. Svanberg, il fut démontré que le fil à-plomb du grand secteur, employé par les astronomes français, n'avoit pu dévier sensiblement de sa position verticale par les attractions des montagnes situées dans le voisinage des lieux où se sont exécutées les opérations, et qu'ainsi les erreurs de la mesure de 1736, s'il en existoit, ne pouvoient leur être attribuées; qu'il avoit à la vérité trouvé quelque différence entre les hauteurs des signaux, tels qu'ils sont sur les lieux, et ceux qui sont décrits dans l'ouvrage de Maupertuis, sur la figure de la terre; que cette différence pouvoit dans les réductions à l'horizon influer sur la grandeur de la mesure terrestre, mais qu'elle étoit insuffisante pour expliquer des erreurs considérables dans cette mesure.

Ces premiers résultats affermirent M. Mélanderhjelm dans son idée d'une nouvelle mesure; il se proposoit même d'en solliciter l'exécution auprès du roi; mais avant cette dernière démarche, il demanda les conseils de ses collègues de l'Académie des sciences de Stocholm, ceux des savans étrangers avec lesquels il entretenoit une correspondance habituelle; tous partagèrent son opinion sur l'importance du projet, et lui témoignèrent le plus grand desir de le voir s'exécuter. Une nouvelle opération de laquelle on attendoit sans doute encore quelques lumières sur la détermination de la vraie figure de la terre, com-

parée avec l'ancienne, faite par des hommes d'une renommée imposante, ne pouvoit qu'exciter un grand intérêt.

En conséquence de l'accord des opinions sur son projet, M. Mélanderhjelm ne balança plus à le proposer au roi, appuyé de toutes les autorités qui pouvoient l'accréditer. Sa proposition fut favorablement accueillie, et le 17 février 1801, il fut décidé qu'une nouvelle mesure du degré de Laponie seroit exécutée aux frais de l'Etat.

MM. Svanberg et Ofverbom, ingénieurs-géographes, tous deux membres de l'Académie des sciences de Stockholm, furent chargés de cette importante opération; ils joignoient aux connoissances nécessaires pour une telle entreprise, la force et la santé qu'exige la rigueur d'un climat voisin de la zône glaciale. L'auteur du projet regretta vivement que son âge (1) déjà avancé ne lui permît pas de partager leur travail.

Les deux géomètres partirent de Stockholm vers la fin d'avril 1801, avec le dessein d'arriver avant le 24 mai suivant à Torneo, où ils se proposoient d'observer l'occultation de l'épi de la Vierge, par la lune; ils attachoient un grand prix à cette observation sur laquelle ils comptoient pouvoir s'appuyer pour déterminer avec précision la longitude de Torneo et celle de toute leur méridienne; c'est pour elle qu'ils avoient hâté leur départ et qu'ils s'étoient exposés à traverser la Médelpadie et l'Angermanie, provinces qui s'étendent du midi au nord, le long du golfe de Bothnie, dans une saison où la fonte des glaces et des neiges rendent les routes de ces contrées impraticables. Ils arrivèrent en effet à Torneo

(1) M. Melanderhjelm, né en 1726, étoit alors dans sa 75e année.

le 18 mai; tout étoit prêt pour l'observation dont ils se félicitoient d'avance de pouvoir tirer un grand avantage; déjà même ils avoient commencé, dit M. Svanberg (1), *à compter sur la pendule*, lorsque le ciel se couvrit de nuages et leur déroba la vue de l'éclipse attendue, au moment même où l'astre observé alloit se plonger sous le disque lunaire.

Ce sont de ces traverses que le sort réserve quelquefois aux observateurs, et qu'ils supportent avec peine; ce sont ces variations du ciel qui leur font perdre souvent en un instant le fruit des plus longs voyages. Legentil, après avoir traversé les mers, pour aller dans l'Inde observer le passage de Vénus sur le soleil, manqua deux fois cette importante observation; un nuage lui déroba pour jamais en 1769, l'espérance de voir ce rare phénomène qui ne devoit plus reparoître qu'en 1874.

Les deux astronomes remplirent cependant avec succès le but principal qu'ils s'étoient proposé dans ce premier voyage; ils déterminèrent l'étendue qu'ils devoient donner à leur méridienne, qu'ils prolongèrent autant qu'il leur fut possible, dans des pays incultes et sauvages; ils en placèrent l'extrémité méridionale à *Mallorn*, et l'extrémité septentrionale à *Pahtavara;* ils choisirent leurs stations, firent élever des signaux et bâtir des Observatoires. Tandis qu'ils étoient encore à Pahtavara, ils observèrent, aussi bien que leur permirent les froids extrêmes de ces contrées glaciales (2), deux éclipses du premier

---

(1) *Exposition des opérations faites en Laponie pour la détermination d'un arc du méridien en* 1801, 1802 *et* 1803. *Discours préliminaire*, page 17.

(2) Le froid étoit tel, que les exhalaisons qui sortoient de l'œil se geloient dans l'instant même; de sorte qu'il falloit continuellement essuyer l'oculaire pour empêcher qu'étant couvert de brumes, il ne fît trop tôt disparoître le satellite. *Exposition des opérations*, etc. *Discours préliminaire*, p. 18.

satellite de Jupiter, qui devoient leur tenir lieu de l'occultation de l'épi de la Vierge, qui leur étoit échappée.

Ces opérations préliminaires étant achevées, ils revinrent à Stockholm attendre un cercle répétiteur de Borda, que M. Delambre s'étoit chargé de faire exécuter sous ses yeux, à la prière des astronomes suédois. L'instrument précieux, impatiemment attendu, arriva de Paris, sans accident, au commencement de décembre de l'année 1801; le navire qui le portoit fut préservé du naufrage que firent, vers la même époque, un grand nombre de bâtimens qui passoient de la mer du nord dans la Baltique.

Ce cercle répétiteur, ouvrage de M. Lenoir, étoit accompagné des étalons du double mètre et de la toise du Pérou, l'un et l'autre travaillés avec le plus grand soin par cet artiste habile. Ces deux mesures étoient un présent que l'Institut national envoyoit à l'Académie des sciences de Stockholm; il étoit d'un grand prix pour les astronomes suédois. Le mètre et la toise leur étoient nécessaires pour comparer exactement le degré de Laponie avec les degrés de France et du Pérou.

Munis de ces instrumens, MM. Svanberg et Ofverbom se préparèrent au voyage qui devoit mettre fin à leurs opérations. L'Académie des sciences de Stockholm crût devoir, à cause des détails immenses et des grandes précautions qu'elles exigeoient, leur associer MM. *Holmquist* et *Palander;* le premier, professeur de mathématiques de l'Université d'Upsal; le second, de celle d'Abo.

Les quatre coopérateurs partirent ensemble pour la Laponie, au commencement de janvier 1802; ils s'occupèrent d'abord de la mesure de la base dont ils établirent, comme les astronomes français, la plus grande partie

sur

sur le fleuve Torneo, ils profitèrent comme eux de la surface égale des eaux, afin d'avoir dans le nivellement moins de réductions à faire; mais cette base unie ne pouvoit être mesurée qu'au milieu des grands froids de l'hiver, lorsque le fleuve glacé leur présentoit une surface solide; ils commencèrent sa mesure le 22 février, par l'extrémité méridionale, située à Niemis-by; ils la marquèrent sur la pierre employée pour le même objet en 1736, et s'avancèrent vers le nord jusqu'à Poiki-Torneo, où ils arrivèrent le 11 avril; c'étoit bien le lieu où les académiciens français avoient aussi fixé le terme septentrional de leur base, mais on n'en put découvrir les vestiges (1).

On se servit dans cette mesure de barres de fer battues à froid, pour les rendre plus denses. Chacune étoit revêtue à ses extrémités, de lames d'argent, sur lesquelles étoit tracée de chaque côté une ligne droite qui la traversoit dans sa longueur. La distance de l'une à l'autre de ces lignes que l'on faisoit coïncider successivement dans les applications des barres, étoit toujours exactement de six mètres. La base entière que l'on a trouvée de 7414,5 toises, étoit plus longue de 7 toises que celle qui fut mesurée en 1736, avec laquelle on ne peut au reste établir aucune comparaison; puisqu'il est certain, d'après M. Svanberg

(1) M. Delambre pense, d'après l'annonce de M. Svanberg, que l'intention des astronomes Suédois étoit de faire coïncider leur base avec l'ancienne, que la coïncidence qu'ils cherchoient n'a lieu ni dans l'une ni dans l'autre extrémité des deux bases mesurées, qu'ils auroient pu cependant les retrouver s'ils avoient consulté plutôt l'ouvrage d'Outhier que celui de Maupertuis sur la mesure exécutée au nord en 1736.

Voyez la Connoissance des temps pour 1808, page 469 et suiv.

lui-même, que le point précis de son extrémité septentrionale n'a pas été retrouvé.

Pendant le cours de cette opération, qui ne pouvoit entraîner avec elle que des peines excessives dans des climats aussi rudes, il n'étoit pas rare de voir le mercure descendre dans le thermomètre centigrade jusqu'à 30 degrés au-dessous de la congélation, et souvent les observateurs étoient arrêtés au milieu de leurs pénibles travaux, par des ouragans furieux qui les enveloppoient dans d'épais tourbillons de neige, au milieu desquels ils perdoient de vue tous les objets environnans.

Quel spectacle que celui de l'homme s'avançant avec ses frêles instrumens jusqu'aux lieux inhabités, où le soleil ne laisse tomber sur la terre que des rayons obliques et mourans, luttant contre les saisons et les élémens pour reconnoître au juste l'excès de l'arc de l'équateur sur celui des pôles! C'est alors qu'il paroît assujettir la nature entière à ses calculs, et ce n'est pas pour l'intérêt seul d'une vaine curiosité, ou pour un problème isolé, qu'il s'obstine à vaincre tant de difficultés, mais pour une question qui se lie à toutes les apparences des mouvemens célestes, au mécanisme même de l'Univers.

Après la mesure de la base, les astronomes suédois songèrent à former la chaîne des triangles, qui devoit s'étendre de Mallorn à Pahtavara; déjà, pendant l'été de 1801, MM. Svanberg et Ofverbom avoient choisi toutes leurs stations; ils adoptèrent entre Kittis et Torneo, extrémités de la méridienne mesurée en 1736, toutes celles qu'avoient établies les académiciens Français; ils en cherchèrent vainement de plus favorables, et même lorsqu'ils voulurent prolonger leur méridienne au-delà des limites de l'ancienne, ils trouvèrent des obstacles

qui les forcèrent de détourner brusquement vers le couchant la suite de leurs triangles; mais ils pensèrent que cet inconvénient seroit avantageusement compensé par l'augmentation de l'amplitude de l'arc à mesurer; cette augmentation s'est élevée à peu près aux trois cinquièmes de l'arc mesuré en 1736.

Pendant les mois de juin, de juillet et d'août, ils déterminèrent avec toute l'exactitude que l'on pouvoit attendre du cercle répétiteur, les valeurs des angles formés aux stations qu'ils avoient choisies; ils firent ensemble, dans les deux derniers mois de l'année, les observations astronomiques qui devoient servir à la mesure de l'arc céleste compris entre les deux extrémités de la méridienne et celles d'azimuts nécessaires pour calculer sa longueur qu'ils trouvèrent de 180827,68 mètres ou 92777,98 toises.

Les observations des latitudes faites en très-grand nombre par le moyen des distances de l'étoile polaire au zénit dans ses passages au méridien, tant supérieurs qu'inférieurs, leur donnèrent pour la grandeur de l'arc céleste (1), 1°,8023351 suivant la division décimale, ou 1° 37′ 16″,566 suivant la division sexagésimale; d'où ils conclurent que la longueur du degré décimal du méridien, à la latitude moyenne entre Mallorn et Pahtavara, est de 100329,667 mètres ou de 51476,543 toises, et celle du degré sexagésimal de 111477,408 mètres ou 57196,159 toises, c'est-à-dire, d'environ 208 toises plus petit que le degré

(1) La hauteur du pôle à Mallorn, suivant les observations des astronomes Suédois, est de 72°,8056372 décimaux, ou de 65° 31′ 30″, 265 suivant la division sexagésimale et à Pahtavara de 74°,6079723 décimaux ou de 67° 8′ 49″,830.

déterminé vers le même parallèle par les astronomes Français; ainsi furent confirmées les conjectures qu'avoit fait naître, sur la mesure de ce degré, son accroissement trop rapide.

Les résultats des dernières opérations faites en Laponie paroissent obtenir la préférence sur ceux de 1736. Les astronomes Suédois ont, à la vérité, trouvé tant pour la précision des mesures géodésiques, que pour celle des observations célestes, des ressources précieuses dans la nouvelle perfection des méthodes et des instrumens; mais ils ont aussi, par leurs talens, inspiré une confiance méritée, et qui leur est d'autant plus glorieuse qu'ils avoient à lutter contre de grandes renommées.

M. Svanberg, l'un des principaux observateurs qui ait pris part à l'exécution de l'entreprise, en a rendu compte en géomètre habile. Comme M. Delambre, dont il a suivi les traces, il a détaillé, dans un ouvrage que l'on peut regarder comme un savant traité de Géodésie, les principes qui l'ont guidé dans ses opérations et celles de ses collaborateurs; il a démontré les formules des corrections relatives à la dilatation et contraction des métaux, à l'inclinaison des modules (1). Il a recherché le résultat le plus probable que l'on puisse obtenir pour la valeur d'un angle, d'après une suite d'observations faites avec le cercle répétiteur; mais sa méthode (2) n'a point paru

(1) Règles employées pour la mesure de la base.

(2) M. Laplace qui a analysé la méthode de M. Svanberg, a trouvé que l'erreur à laquelle elle expose est à celle de la méthode ordinaire comme 3 est à 2..... M. Svanberg, en convenant de la vérité de cette remarque en certains cas, pense qu'il en est d'autres où le rapport serait au contraire celui de 1 à 3,85.

Connoissance des temps pour 1808, page 472.

devoir être préférée à la méthode ordinaire qui consiste à diviser l'arc total par le nombre des observations. M. Svanberg a compris dans ses recherches la correction dépendante de l'excentricité de la lunette inférieure, les réductions au centre du signal et à l'horizon. Il a porté dans les observations astronomiques la même attention que dans les opérations géodésiques. Dans ses formules de l'aberration, il a, comme M. Delambre, tenu compte de l'ellipticité de l'orbe terrestre.

Cet ouvrage est terminé par une théorie du sphéroïde, dans laquelle l'auteur a recherché les aplatissemens qui résultent de la comparaison des degrés mesurés à différentes latitudes. Il a trouvé que sa mesure, comparée avec celle du Pérou, donne pour l'aplatissement de la terre $\frac{1}{334}$, celle de la Laponie comparée avec celle de France $\frac{1}{307}$. Il a conclu de ces rapprochemens, que l'aplatissement le plus probable, le plus propre à concilier les diverses mesures seroit $\frac{1}{323}$, que cette conciliation pouvoit s'opérer, en supposant le degré du Pérou diminué de quatorze mètres, celui de Laponie de treize, celui des Indes Orientales augmenté de vingt-quatre et celui de France de deux.

Remarquons, en terminant ce qui concerne le degré de Laponie, que l'ouvrage de M. Svanberg, auquel l'Institut a décerné en 1805 le prix fondé par Lalande, est écrit en Langue française, que les opérations dont il donne les détails ont été exécutées avec des instrumens français, que le mètre et la division décimale de la circonférence ont été adoptés dans la détermination de l'arc mesuré. Ce choix libre des étrangers est honorable pour la France, qui devient aujourd'hui pour l'Europe

le foyer des lumières comme la métropole du goût et des arts.

ARTICLE V.

OPÉRATIONS FAITES DANS L'INDE,

POUR LA MESURE D'UN ARC DU MÉRIDIEN

ET D'UN ARC PERPENDICULAIRE AU MÉRIDIEN.

Tandis que les astronomes suédois vérifioient vers le cercle polaire la mesure de Maupertuis, d'autres savans s'occupoient dans la presqu'île de l'Inde, près de l'équateur, d'une nouvelle mesure de degrés terrestres.

Déjà l'Asie avoit vu sur les bords du Gange, le géomètre se livrer à de semblables travaux; déjà Reuben-Burrow avoit mesuré au nord de Calcutta, sous le tropique du Cancer, un degré de longitude qu'il trouva de 41620 toises, et vers le même tropique, entre 22° 44′ et 23° 48′, un degré de latitude qu'il trouva de 56726 toises; mais il peut rester beaucoup d'incertitude sur la mesure de ce degré, que son auteur n'a déterminée qu'au moyen d'un quart de cercle d'une très-petite dimension.

Une opération beaucoup plus importante a été proposée vers le commencement de ce siècle, à la Société asiatique du Bengale (1); c'étoit de mesurer la presqu'île de l'Inde par une suite de triangles qui la traverseroient d'une mer à l'autre vers le parallèle de Pondichéry. Le commencement de cette grande opération est la mesure d'un

(1) *Recherches Asiatiques, ou transactions de la Société du Bengale*, t. 8.

arc du méridien sur la côte de Coromandel, dans la latitude de 12° 32', et d'un arc perpendiculaire au méridien, exécutée dans les années 1802 et 1803, par le major de brigade W. Lambton, auteur du projet.

Une belle plaine de huit milles anglais d'étendue, située près de la mer et du mont Saint-Thomas, dans une direction qui ne s'écarte de celle de la méridienne, du côté de l'ouest, que de 10 minutes 36 secondes, est le lieu que choisit cet observateur pour l'emplacement de sa base. Il employa dans sa mesure deux chaînes d'acier, construites par le célèbre artiste Ramsden, dont l'une qui lui servoit de module, avoit été comparée très-exactement à Londres, avec l'étalon des mesures anglaises, à la température de 50 degrés du thermomètre de Fareinheit, ou de 8 degrés de celui de Réaumur.

Après les plus grandes précautions prises sur l'exactitude de ses opérations, après de nombreuses expériences sur la dilatabilité des chaînes, et les attentions les plus scrupuleuses sur toutes les réductions qui devoient être faites, il trouva pour la longueur de la base 40006,44 pieds anglais, ou 6254,4 toises, suivant l'ancienne mesure de France. Il eut soin d'en conserver la position pour l'avenir, au moyen de deux pyramides tronquées qu'il fit élever à chacune des deux extrémités.

En attendant de Londres le grand théodolite nécessaire à la suite de ses opérations, le major Lambton fit plusieurs excursions du côté de Pondichéry, afin de reconnoître les stations les plus propres à déterminer en même temps la mesure d'un arc du méridien et celle d'un arc perpendiculaire au méridien. Il composa pour cet effet sa chaîne entière de 32 triangles dont quelques-uns avoient des côtés d'environ 30 milles ou dix lieues de longueur.

Dès que le théodolite qu'il attendoit fut arrivé, il commença les observations des angles, qui durèrent depuis le 27 septembre 1802 jusqu'au 13 avril 1803. Il apporta les plus grandes précautions dans leurs mesures. Il avoit soin d'observer chaque angle trois à quatre fois, de lire trois fois les indications micrométriques, de les inscrire séparément sur deux registres et de prendre pour la valeur de l'angle indiqué, la moyenne entre les quantités portées sur chacun des registres. Sur les 32 triangles qui composoient sa chaîne trigonométrique, il en trouva onze dans lesquels la différence entre la somme des trois angles et deux droits, déduction faite de l'excès sphérique, étoit presque nulle, et deux seulement dans lesquels elle étoit entre six et sept secondes.

Lorsqu'il eut achevé la mesure des triangles, il réduisit toutes les distances au méridien de *Trivandeporum*, extrémité méridionale de l'arc, et trouva pour sa longueur jusqu'à son terme boréal à *Pandrée*, 574327,96 pieds anglais, ou 95721,33 fathoms, ou 89787,5 toises.

Là se terminoient les opérations géodésiques, et devoient commencer celles de l'astronome. Il s'agissoit de mesurer l'arc céleste compris entre les verticales des deux extrémités de l'arc terrestre, et d'observer à cet effet les distances des étoiles au zénit. Le major Lambton employa dans ces observations un grand secteur astronomique de cinq pieds de rayon, qui s'étendoit à 9° de part et d'autre du zénith.

Il s'établit d'abord à Pandrée pendant les mois de novembre et de décembre de 1802; mais ses opérations y furent souvent interrompues par les temps orageux de la Mousson. Il avoit formé le projet d'observer trois étoiles. Aldébaran seul, qui passoit à 2° 46′ de son zénith lui

lui donna des résultats satisfaisans. Il l'observa pendant seize nuits consécutives, et trouva, pour la latitude moyenne de Pandrée, conclue de toutes ses observations 13° 19′ 49″,018.

Il se rendit ensuite à Trivandeporum, près le fort *Cadda'ore*. Ses observations qu'il fit pendant le mois de février 1803, n'y furent traversées par aucun obstacle. Le temps y fut constamment calme et serein. Aldebaran, qu'il observa de même pendant plusieurs nuits, lui donna pour la latitude de Trivandeporum 11° 44′ 52″,59, et par conséquent, pour l'arc compris entre les deux stations extrêmes 1° 34′ 56″,59. Il en conclut la longueur du degré correspondant au milieu de l'arc, de 60495 fathoms ou de 56744,9 toises.

Le major Lambton avoit encore en vue la mesure d'un degré perpendiculaire au méridien. Le choix des stations avoit été fait conformément à ce projet. Ses triangles couvroient une surface qui s'élargissoit vers le centre; il n'eut besoin que d'en ajouter trois à ceux qu'il avoit déjà observés pour déterminer la distance entre les stations de *Carangooly* et de *Carnatighur*, situées à très-peu près sur le même parallèle. Il chercha la différence de longitude entre les deux stations, en conclut la longueur du degré perpendiculaire au méridien, en faisant usage de la méthode des azimuts, c'est-à-dire, qu'il observa dans la station orientale de Carangooly l'angle de la méridienne avec Carnatighur, et réciproquement dans la station occidentale de Carnatighur, l'angle de la méridienne avec Carangooly; détermina, par des calculs trigonométriques, la distance des parallèles entre les deux stations, et trouva, d'après cette distance et les azimuts calculés dans la sphère, pour l'arc de grand cercle per-

pendiculaire au méridien de Carangooly et terminé par celui de Carnatighur 47′ 37″, pour la corde de cet arc 290837,8 pieds anglais, pour l'arc lui-même 290841, et pour la longueur du degré perpendiculaire au méridien à la latitude de Carangooly, 366355,08 pieds, et par un dernier calcul, 61061 fathoms ou 57275,8 toises.

Il employa dans les observations d'azimut, le grand théodolite et les feux du Bengale. Ces observations faites à travers les vapeurs dont la station élevée de Carnatighur étoit environnée, ne furent point pour lui sans difficultés. Il les trouva peu d'accord entre elles; mais il eut soin de les multiplier et de faire disparoître les discordances dans les résultats moyens.

L'opération du major Lambton dans les Indes orientales, examinée dans tous ses détails, soit du côté de la perfection des instrumens, soit du côté des précautions prises pour en faire usage, inspire une juste confiance; elle est même déjà placée par les astronomes au nombre de celles qui peuvent concourir à déterminer le plus exactement l'ellipticité de la terre.

En suivant les opérations des Français et des Anglais, on doit être frappé de la différence de leurs procédés pour arriver au même but. En France, un seul instrument sert à mesurer les arcs sur la terre et dans le ciel; le cercle répétiteur tient lieu du théodolite et du secteur astronomique. La petitesse de son rayon, la foiblesse des lunettes dont il est accompagné, paroitroient devoir lui faire préférer des instrumens d'une plus grande dimension; mais la facilité du transport, la faculté d'être placé dans de petits espaces et la répétition indéfinie de la mesure des angles sur toutes les parties de la circonférence, compensent avec avantage les qualités que peuvent don-

ner aux instrumens anglais la grandeur de leurs rayons et l'excellence de leur construction.

En France, les règles de platine inventées par Borda, pour la mesure des bases, tiennent lieu des chaînes d'acier dont on fait usage en Angleterre. La longueur exacte des règles est garantie à chaque instant par la pureté de la matière qui les composent, et les thermomètres métalliques qui les accompagnent. Les chaînes d'acier, pour être exactes, demandent une main très-habile qui les construise. Elles mettent ainsi l'observateur dans la dépendance de l'artiste qui partage la gloire de ses opérations; ce que l'on peut dire aussi du théodolite et du secteur astronomique.

Dans les opérations françaises, les lampes à miroir parabolique remplacent les feux du Bengale dont se servent les Anglais. La lumière qu'elles produisent peut avoir une durée indéfinie et l'on peut juger de l'éclat qu'elle jette au loin par le grand triangle qu'ont mesuré en Espagne MM. Biot et Arago.

Les procédés des Français dans les mesures terrestres paroissent en général plus simples et plus expéditifs, leurs instrumens moins embarrassans tant dans leurs appareils que dans leurs volumes. Déjà les étrangers commencent à les adopter; les astronomes suédois les ont employés dans leurs mesures vers le cercle polaire; et l'on peut croire avec beaucoup de vraisemblance, en rendant justice à l'habileté des artistes anglais, qu'un jour le théodolite cédera partout la prééminence au cercle répétiteur, que les règles de platine l'emporteront sur les chaînes d'acier et les lampes à miroir parabolique, sur les feux du Bengale.

DEUXIÈME SECTION.

CATALOGUES D'ÉTOILES.

Si de la mesure de la terre nous passons aux dénombremens, aux positions des étoiles dans le ciel, nous y trouverons des objets aussi dignes d'exciter l'intérêt et plus capables d'exalter l'imagination. Ces astres lumineux immobiles pour nous dans l'espace, nous servent à suivre la marche des astres errans; c'est par l'immobilité des uns que sont appréciés les mouvemens des autres. Rien n'est donc plus intéressant pour l'astronome que la détermination exacte de la position des étoiles, ou la formation de leurs catalogues. Ces sortes d'ouvrages ont été mis par les anciens au rang des travaux astronomiques les plus importans et les plus difficiles. Pline (1) ne cite qu'avec admiration le catalogue d'Hipparque; une pareille entreprise lui paroît être celle d'un dieu.

Cependant, combien les modernes se sont élevés dans cette partie au-dessus des anciens! jusqu'à Flamsteed, qui le premier se servit du télescope dans les observations des étoiles, les erreurs sur leurs positions avoient été portées jusqu'à quatre et cinq minutes. Le télescope, organe nouveau, que n'avoient pas connu ou que n'avoient pas employé ses prédécesseurs, donna les moyens de

(1) Pline dit en parlant d'Hipparque: *ausus rem etiam deo improbam, adnumerare posteris stellas et sydera ad normam expangere.* Plin. Hist. nat. lib. 2, cap. 26.

les examiner avec plus de soin et de les multiplier. Le dénombrement d'Hipparque rapporté dans l'Almageste de Ptolémée, avoit été de 1022 étoiles, celui de Flamsteed fut porté jusqu'à près de trois mille.

Quoique son catalogue, connu sous le nom de *Britannique*, ait fait époque dans l'Astronomie, quoiqu'il ait été pendant près d'un demi-siècle le guide le plus sûr des observateurs, et qu'il ait servi de base aux plus belles théories des mouvemens célestes, cependant il n'avoit pas encore atteint le degré de perfection que devoit comporter un ouvrage de cette nature. Les effets de la réfraction étoient mal déterminés, l'aberration de la lumière et la nutation de l'axe terrestre étoient encore inconnues; ces découvertes, ainsi que les mouvemens propres de certaines étoiles ont encore fait appercevoir dans le catalogue de Flamsteed des erreurs assez considérables.

Ce n'est que vers le milieu du dix-huitième siècle, qu'aidés par les progrès de l'Astronomie et les secours d'instrumens plus parfaits, Lacaille et le Monnier en France, Tobie Mayer en Allemagne, Bradley en Angleterre, travaillèrent avec une nouvelle ardeur et plus de succès à la formation de nouveaux catalogues d'étoiles.

A peu près vers le même temps fut formé par M. Maskelyne, astronome célèbre de l'Observatoire de Greenwich, un catalogue important, non par le nombre des étoiles qu'il renferme, mais par la précision extraordinaire avec laquelle ont été déterminées leurs positions. Dans leur innombrable multitude, il n'en a choisi que trente-six principales. C'est à ce petit nombre d'étoiles qu'il a rapporté les positions de toutes les autres; ce sont ces points fixes, l'objet constant de ses travaux pendant

plusieurs années qu'il a regardés comme les régulateurs communs de tous les astres, et pour ainsi dire, comme les clefs de la voûte céleste.

ARTICLE PREMIER.

CATALOGUE DE WOLASTON.

Passons aux catalogues formés pendant la période astronomique que nous avons embrassée. L'un des plus considérables qui se présente d'abord est celui de Wolaston, membre de la Société Royale de Londres. L'auteur a rassemblé dans un seul ouvrage les catalogues de tous les astronomes qui, depuis Hévélius, se sont occupés à déterminer les positions des étoiles; il a fait pour eux ce qu'avoit fait Ptolémée pour Hipparque.

Le recueil de Wolaston contient les noms des étoiles rangées suivant l'ordre de leurs distances au pôle, leurs déclinaisons, leurs ascensions droites en parties de l'équateur et en temps, toutes réduites d'après le catalogue de chaque astronome à l'époque de 1790, les caractères qui les distinguent, les constellations auxquelles elles appartiennent, ainsi que le nom de l'observateur; il contient aussi les nébuleuses de M. Herschel, les étoiles doubles qui peuvent être apperçues avec des télescopes ordinaires, les étoiles zodiacales observées par Flamsteed, Lacaille, Mayer et Bradley, à neuf degrés de latitude soit australe, soit boréale; enfin tout ce qui peut mériter l'attention d'un astronome. Cet utile répertoire pourroit seul former une *Histoire céleste universelle*.

ARTICLE II.

CATALOGUE DE M. LE FRANÇAIS-LALANDE.

Un catalogue plus considérable encore que le précédent, est celui de cinquante mille étoiles de M. Le Français-Lalande, dont le projet fut conçu par Jérôme Lalande, son oncle. Ce savant, qui consacra sa vie entière à l'Astronomie, vouloit la rendre héréditaire dans sa famille, comme elle l'a été pendant près de deux siècles dans celle des Cassini. Il avoit, avec la passion de la célébrité, la noble ambition de voir celui qui devoit hériter de son nom, paroître aux yeux de l'Europe savante, avec des titres de gloire obtenus dans la même carrière qu'il avoit parcourue avec succès. Il n'en vit point de plus grand que celui de porter le nombre des étoiles observées au-delà des espérances de tous les astronomes; il engagea donc son neveu à suivre avec ardeur une entreprise qui lui paroissoit aussi glorieuse qu'utile; il pensoit qu'après avoir fait élever à l'Astronomie ce monument durable, aucun astre ne pourroit plus se montrer dans la partie boréale du ciel, et même à deux ou trois degrés au-delà du tropique de l'hémisphère austral, sans que son mouvement ne fût aussitôt reconnu et déterminé; mais l'ouvrage étoit difficile, et la vie d'un seul homme n'étoit peut-être pas suffisante au succès d'une pareille entreprise. Quoi qu'il en soit, Jérôme Lalande présentoit à son neveu un héritage de gloire et des travaux qui pouvoient l'en rendre digne; il vouloit l'attacher à l'Astronomie par les sacrifices qu'elle alloit lui coûter.

M. Le Français-Lalande ne se laissa point effrayer par

les veilles laborieuses que lui préparoit la formation du catalogue le plus nombreux qui jamais eût été projeté. Jaloux de l'amitié d'un parent qu'il aimoit et respectoit, animé par son exemple, il l'entreprit avec courage.

Munis d'un quart de cercle mural de sept pieds et demi de rayon, fait de la main de Bird, artiste célèbre de Londres, et d'une excellente pendule de Lepautre, ils commencèrent ensemble ce grand ouvrage en 1789, à l'Observatoire de l'ancienne Ecole Militaire. Ayant formé le dessein de ne laisser échapper que très-peu d'étoiles à leurs observations, ils divisèrent le ciel par bandes de deux degrés, et dans les deux tiers de la zône comprise entre le pôle et le tropique, ils observèrent en moins de six mois trois mille étoiles boréales, c'est-à-dire plus que n'en avoit observé Flamsteed dans un espace d'environ vingt-huit ans.

En 1790, lorsqu'ils eurent achevé la partie du ciel qui s'étend depuis le pôle jusqu'à 45 degrés de *déclinaison*, le nombre des étoiles de leur catalogue s'éleva jusqu'à huit mille, parmi lesquelles se trouvoient toutes celles qu'avoit observées Flamsteed dans cette partie du ciel. Ce catalogue s'accrut prodigieusement d'année en année, par les soins et le zèle de M. Le Français-Lalande. Près de la fin de sa longue carrière astronomique, et dans un âge qui ne pouvait plus supporter les fatigues de l'observation, Jérôme Lalande en confia l'exécution à l'active jeunesse de son neveu qui s'en occupa constamment jusqu'en 1799, époque à laquelle il fut achevé et porté jusqu'à cinquante mille; il avoit ainsi coûté plus de dix ans de travaux, temps qui doit paroître très-court pour l'immensité de l'ouvrage.

Si d'après les vues de son auteur, cette révision générale

rale du ciel devoit fournir aux astronomes les moyens de suivre la marche des comètes aux époques de leurs apparitions, ou même encore de découvrir quelques phénomènes de ces astres brillans placés à des distances presque infinies au-dessus de nos têtes, elle exigeoit dans les déterminations prises sur les positions des étoiles, une exactitude que l'on ne pouvoit attendre que d'un temps très-considérable, peut être même du concours de plusieurs coopérateurs.

Cependant le catalogue de M. Le-Français-Lalande peut être regardé comme une entreprise vaste et hardie; il peut même fournir souvent aux observateurs d'utiles secours. Etonnant par le nombre d'étoiles qu'il renferme, il eût fait l'admiration de l'antiquité, et ne peut être cité qu'avec éloge parmi les travaux des Hipparques modernes.

Ce catalogue a donné lieu de remarquer qu'au nombre des étoiles observées, on en compte cent quarante-quatre qui ne setrouvent plus aux places qui leur avoient été assignées par Hévélius et Flamsteed. Ces étoiles ont-elles été mal observées ou mal calculées? dans leur nombre ne s'est-il pas trouvé plusieurs planètes, peut-être celles que l'on a découvertes au commencement de ce siècle? d'autres enfin ont-elles disparu, et quelle peut être la cause de ces disparitions apparentes ou réelles? les foyers brûlans des différens systèmes des mondes sont-ils sujets à s'éteindre? après avoir été resplendissans de lumière, doivent-ils finir par être plongés dans d'éternelles ténèbres, et n'être plus comptés pour rien dans l'immensité des cieux? Nous sommes encore sur cet objet condamnés à l'ignorance; peut-être l'Astronomie future dévoilera ces mystères.

Article III.

CATALOGUES RÉFORMÉS

PAR MM. DELAMBRE ET DE ZACH.

Au nombre des auteurs des catalogues d'étoiles peuvent être aussi comptés leurs réformateurs; tels sont M. Delambre en France et M. de Zach en Allemagne.

Le premier s'est occupé des corrections à faire aux ascensions droites des étoiles contenues dans les catalogues de Bradley, de Mayer et de Lacaille, afin de les concilier. Ces corrections ont été déterminées par un grand nombre d'observations faites avec un soin qui pouvoit promettre à l'observateur la précision même du catalogue de M. Maskelyne.

Le second a mis les mêmes soins à corriger les ascensions droites des étoiles zodiacales du catalogue de Flamsteed. Ses travaux, couronnés du même succès que ceux de M. Delambre, ont eu pour résultat deux nouveaux catalogues, l'un de 400 étoiles principales, publiés en 1792, et l'autre de 1200, publié quelques années après. Ce dernier est regardé comme supérieur au premier et comme digne de rivaliser avec les ouvrages les plus parfaits que l'observation ait produits jusqu'ici dans ce genre.

Article IV.

CATALOGUE DE M. BODE.

Un autre catalogue qui mérite encore une place distinguée parmi les plus modernes, est celui de M. Bode, astronome célèbre de Berlin. La naissance de ce cata-

logue est liée à celle de son grand Atlas céleste en vingt feuilles. Il avoit formé le projet de reproduire celui de Flamsteed, augmenté des constellations australes de Lacaille, des nébuleuses de M. Herschel, et de toutes les étoiles observées dans le dernier siècle. Le nombre de celles qu'il devoit contenir étoit de 17240; il en calcula les ascensions droites et les déclinaisons, et les réduisit en catalogue, en prenant pour époque l'année 1801. Elles y sont rangées par constellations, suivant la méthode des anciens et non pas suivant l'ordre dont elles se succèdent dans leurs passages au méridien. Le catalogue de M. Bode et son Atlas céleste, peuvent être regardés comme des ouvrages très-précieux pour quiconque se livre à l'étude du ciel.

Article V.

CATALOGUES DE MM. CAGNOLI ET PIAZZI.

Voilà le précis de ce qu'ont fait depuis trente ans l'Angleterre, la France et l'Allemagne pour le dénombrement et les positions des étoiles; mais la patrie de Galilée et de Dominique Cassini doit appeler aussi notre attention; elle n'est pas étrangère à ces sortes de travaux. Sous le beau ciel de l'Italie, l'Astronomie est toujours cultivée avec succès. Cette contrée, heureuse pour les sciences comme pour les arts, compte encore aujourd'hui plusieurs astronomes dont la renommée publie les noms et les ouvrages à côté de ceux des savans les plus illustres, MM. Oriani et Reggio à Milan, M. Cagnoli à Vérone, M. Piazzi à Palerme. Ces deux derniers ont aussi consacré leurs veilles à la formation de deux nou-

veaux catalogues. Celui de M. Cagnoli, composé de 473 étoiles boréales et de 28 australes, a paru pour la première fois dans les Mémoires de la Société italienne, à laquelle il fut présenté en 1802. Il a été ensuite publié à Modène, en 1807, avec les corrections qu'exigeoient quelques erreurs dépendantes des réductions et reconnues par l'auteur, d'après la comparaison de son catalogue avec celui de M. Piazzi, imprimé à Palerme en 1803.

Le catalogue de M. Cagnoli n'a été emprunté d'aucun autre. Il est, à quelques observations près, qui lui ont été communiquées par Cesaris, astronome de l'Observatoire de Milan, le résultat de ses propres travaux. Ces observations, ainsi que les siennes, ont été assujetties à l'ascension droite de la Chèvre, qu'il a déterminée avec soin, au moyen de vingt-quatre comparaisons au soleil. De cette ascension droite il a déduit celles de toutes les autres étoiles, et même la précession annuelle des équinoxes qu'il a faite de 50″,292, quantité moindre à la vérité que celle qu'adoptoient les astronomes, il y a cinquante ans (1), pour le mouvement rétrograde des points équinoxiaux, mais cependant encore trop forte. D'après les observations de plus de 1200 étoiles comparées par M. Delambre avec les observations de Mayer, Lacaille et Bradley, ce mouvement se réduit à 50″,10.

Les travaux de M. Cagnoli pour la formation de son catalogue, ont été commencés à Paris et continués à Vérone. Il n'a rien négligé pour en déterminer les latitudes (2); il a eu soin d'observer dans la détermination

---

(1) Précession des équinoxes d'après les observations de Copernic et de Tycho .... 50″,33.

(2) Latitude de Paris déterminée par Cagnoli .... 48°50′ 14″

Latitude de Vérone .... 45°26′ 7″

des deux positions les effets des réfractions qu'il a trouvées d'un 25e moindres qu'à Paris. Il a calculé l'aberration pour chaque étoile qui n'excède pas 80 degrés de déclinaison, d'après les Tables de M. Delambre et la nutation par celles de Lambert; mais comme ses calculs ont précédé la nouvelle détermination de l'aberration faite par le premier de ces deux astronomes, au moyen des éclipses du premier satellite de Jupiter, il a fait la remarque importante, que chaque aberration calculée devoit être augmentée de $\frac{1}{80}$; le temps employé pour la transmission successive de la lumière du soleil à la terre, n'étant pas seulement, comme on l'a cru longtemps, de 8′ 7″, mais de 8′ 13″.

Il a fait encore observer relativement à la nutation, qu'en adoptant la valeur de 10″,083 résultante des savantes recherches de M. Laplace, il suffisoit de multiplier par 1,12 l'effet de la nutation calculé pour chaque étoile; mais depuis la publication du catalogue de M. Cagnoli, M. Laplace a reconnu lui-même que cette nutation étoit trop forte (1) et l'a fixée à 9″,63.

---

(1) La nutation de 10″,083 supposoit la masse de la lune $\frac{1}{58,6}$ de celle de la terre; mais M. Laplace a reconnu que cette masse est moindre; 1° suivant M. Maskelyne qui, d'après la discussion de la totalité des observations de Bradley, fixe la nutation à 9″,6, ce qui suppose la masse de la lune $\frac{1}{71}$ de celle de la terre. 2° Par deux inégalités lunaires tirées des tables de M. Burg, qui porte cette masse à $\frac{1}{69,2}$. 3° Par la constante de la parallaxe lunaire tirée des mêmes tables, qui réduit la masse de la lune à $\frac{1}{74,2}$ de celle de la terre; d'où M. Laplace a conclu que sa masse la plus problable est $\frac{1}{68,5}$; ce qui lui a donné pour la nutation de l'obliquité de l'écliptique 9″,63. Cette nutation a été adoptée par le Bureau des longitudes.

Voyez la Mécanique céleste, tome 3, page 159 et suivantes, et *les Tables astronomiques*, feuille D.

D'après les connoissances très-étendues de l'auteur, prouvées par des ouvrages très-estimés et les soins qu'il a pris de tenir compte des plus petites quantités, son catalogue doit être mis au rang de ceux qui doivent inspirer le plus de confiance.

La même justice est due au catalogue de sept mille étoiles, de M. Piazzi, utile aux astronomes en proportion de son étendue, et d'autant plus remarquable aux yeux des savans, qu'il a donné lieu à la découverte d'une nouvelle planète. L'auteur commença les observations qui devoient servir à le former, en 1791, avec un instrument d'une construction nouvelle, chef-d'œuvre du célèbre Ramsden, composé de deux cercles entiers, dont l'un, horizontal et de trois pieds de rayon, est destiné aux observations azimutales; l'autre, vertical, supporté par quatre petites colonnes et de cinq pieds de rayon, sert à mesurer les distances des astres au zénith.

M. Piazzi, dans la confection de son ouvrage, prit pour guide Wolaston, ou plutôt il choisit, pour les observer, toutes les étoiles de son recueil, visibles sur l'horizon de Palerme. Lorsque dans ses excursions célestes, il rencontroit sur sa route quelques-uns des 36 points fixes de M. Maskelyne, il ne manquoit pas de les faire entrer dans son catalogue. Il ambitionnoit la *précision* de cet astronome célèbre, et tels étoient ses soins pour l'obtenir, qu'il observoit les principales étoiles jusqu'à soixante et même quatre-vingts fois. C'est à cette continuité d'observations des mêmes astres, répétées pendant plusieurs nuits consécutives, qu'il a dû la découverte de Cérès.

Lorsqu'il eut achevé ses observations, il porta son attention sur le calcul des ascensions droites et des décli-

naisons. Les tables de M. Delambre devoient lui servir pour l'aberration et la nutation. Il en avoit construit lui-même pour le calcul des réfractions moyennes qu'il avoit corrigées d'après l'état de l'atmosphère en Sicile. Il avoit déterminé avec soin la latitude de Palerme, qu'il a trouvée de 38° 6' 45". Il avoit adopté pour la précession annuelle des équinoxes, qu'il avoit déduite de ses propres observations comparées avec celles de Flamsteed, Lacaille et Mayer 50",11, précession un peu différente de celle de Lalande (1) et de Cagnoli, mais à peu près la même que celle de M. Delambre.

En possession de ces élémens nécessaires aux calculs des déclinaisons, il ne restoit plus à M. Piazzi qu'à les effectuer. Quant aux ascensions droites, qui se déterminent ordinairement en comparant avec le soleil celles de quelques étoiles choisies, auxquelles sont rapportées ensuite les positions de toutes les autres, il ne crut pas pouvoir mieux faire que de se servir d'abord, à l'exemple des autres astronomes, de celles qu'avoit déterminées en petit nombre, et corrigées avec une attention particulière, M. Maskelyne, et de déduire de celles-ci les ascensions droites de plusieurs autres observées dans une heure quelconque du temps sidéral. C'est ainsi qu'il se prépara dans le ciel un grand nombre de points fixes à l'aide desquels il pouvoit calculer les ascensions droites de toutes les étoiles de son catalogue, en tenant compte toutefois des effets de la précession, de l'aberration et de la nutation.

---

(1) Précession des équinoxes déterminée par les longitudes des étoiles prises dans le catalogue de Flamsteed, comparées avec celles du catalogue de Lacaille .... 50",25.

Astronomie de Lalande, 3e édition, n° 918.

L'époque de ce catalogue est fixée à l'année 1800, et regardée par l'auteur, d'après le titre (1) même de son ouvrage, comme le commencement du dix-neuvième siècle. L'année 1800 ne nous paroît pas devoir faire davantage partie du dix-neuvième siècle, que la centième année de l'ère vulgaire n'a dû faire partie du second. Un nouveau siècle ne commence que lorsque le précédent est terminé. Au reste nous devons attacher ici peu d'importance à cette remarque : quelle que soit l'année qui doive commencer un siècle ou le finir, le catalogue de M. Piazzi ne doit pas être moins recommandable aux yeux des astronomes.

---

(1) Le titre du catalogue de M. Piazzi est, *præcipuarum stellarum inerrantium positiones mediæ ineunte seculo* XIX.

TROISIÈME

TROISIÈME SECTION.

TABLES ASTRONOMIQUES

RENOUVELÉES DEPUIS 1781.

Nous devons terminer la série des travaux astronomiques dont nous avons jusqu'ici présenté le tableau, par ceux que l'on peut regarder comme les derniers efforts de la Théorie et de l'observation, et comme les témoignages les plus éclatans de leur puissance, lorsqu'elles concourent ensemble au même but.

Chez les anciens, et même chez les modernes, avant Newton, l'empirisme tenoit lieu de Théorie; l'observation présidoit presque seule à la construction des tables astronomiques, je veux dire, de celles qui représentent les mouvemens célestes; leur accord avec l'état du ciel étoit de courte durée; elles s'en éloignoient par des degrés très-marqués peu de temps après leur formation; elles avoient sans cesse besoin d'être renouvelées; les astres les moins rebelles, les moins inégaux dans leur marche, se dégageoient des lois que l'astronome vouloit leur imposer; c'est par le secours de la Géométrie qu'il est enfin parvenu à les assujettir plus long-temps au frein du calcul.

Vers le commencement du dix-huitième siècle, plusieurs astronomes célèbres construisirent des tables de la lune, fondées sur la Théorie de Newton; elles commencèrent alors à devenir plus exactes; mais on n'avoit pas encore tiré de la découverte féconde du prin-

cipe de la gravitation, les conséquences importantes qui devoient en résulter. Les erreurs des Tables de Halley imprimées en 1719, s'élevoient souvent jusqu'à 7 et 8 minutes, quelquefois même au-dessus. Les successeurs de Newton ont fait pour les progrès de l'Astronomie ce qu'il n'avoit pu faire lui-même. Il a posé la première pierre de l'édifice, d'autres l'ont achevé; Euler, Clairaut, d'Alembert, MM. Lagrange et Laplace ont appliqué l'analyse aux grands problèmes de la Physique céleste; et les tables astronomiques construites d'après leur Théorie jointe aux observations qui doivent en établir les données nécessaires, ont fait oublier toutes celles des siècles passés.

ARTICLE PREMIER

PREMIÈRES TABLES DU SOLEIL DE M. DELAMBRE

ET TABLES DE LA LUNE DE MAYER,

PERFECTIONNÉES PAR MASON.

Aucune période astronomique n'est peut-être comparable dans ces sortes de travaux, à celle que nous parcourons. Jusqu'à l'année 1780, les meilleures tables qui pouvoient être citées, étoient celles du soleil, par Lacaille, et celles de la lune, par Mayer. Le premier avoit emprunté de la Théorie de Clairaut les quantités dont la terre est dérangée dans sa course annuelle autour du soleil, par les actions de Jupiter, de Vénus et de la lune. Le second trouva dans celle d'Euler dix-sept équations qui lui furent d'un tel secours pour corriger les tables

de la lune, qu'elles commencèrent dès-lors à ne plus s'écarter de l'observation beaucoup au-delà d'une minute.

Mais ce qui devoit encore accroître la perfection des tables, ce sont des théories nouvelles, des observations plus nombreuses et plus exactes, faites avec des instrumens plus parfaits et par des observateurs plus habiles. M. Delambre qui, vers l'année 1780, commençoit à se placer dans les rangs des premiers astronomes de l'Europe, entreprit en 1786 une nouvelle vérification des tables du soleil. Il détermina d'abord le lieu de l'apogée, l'époque de la longitude moyenne et la plus grande équation du centre; il employa, pour le lieu de l'apogée, des formules nouvelles, recommandables par leur élégance et leur simplicité. Il mit ensuite à l'épreuve les élémens dont il avoit obtenu la première approximation, et pour connoître les corrections qu'ils devoient subir, il emprunta toutes les observations de M. Maskelyne, faites à Greenvich, en 1775 et 1784, et quelques-unes de celles des années intermédiaires. Elles étoient au nombre de 314; il résulta des calculs faits avec beaucoup de soin par M. Delambre, que la longitude moyenne des tables de Mayer, en 1780, devoit être diminuée de 7″, le lieu de l'apogée de 3′ 7″, et que la plus grande équation du centre devoit être portée 1° 55′ 33′,3.

Cependant le nombre et l'excellence des observations de M. Maskelyne ne purent dissiper l'incertitude que laissoit la Théorie sur la quantité de l'équation lunaire ou des perturbations qu'éprouve la terre par la réaction du satellite dont sa marche est embarrassée. M. Delambre adopta l'équation de 8″ de Mayer, à laquelle il ajouta, d'après la Théorie de Clairaut, mais avec une espèce d'irrésolution, également prêt à le rejeter comme à l'admettre,

un second terme égal à 3″,6 multiplié par le produit fait du sinus de l'anomalie moyenne du soleil, par le cosinus de l'argument de la latitude de la lune. Suivant l'épreuve qu'il en avoit faite, les avantages qu'il pouvoit en retirer ne compensoient pas les embarras qu'il en éprouvoit dans les calculs. Les dernières recherches des géomètres ont tranché la difficulté; elles ont démontré que ce second terme ne devoit pas entrer dans la Théorie du soleil.

M. Delambre porta l'équation que Lacaille avoit employée pour Vénus de 15″ à 16″,6, quantité qui supposoit la masse de cette planète à peu près la même que celle qu'avoit employée M. Lagrange, dans ses recherches sur la diminution de l'obliquité de l'écliptique.

D'après toutes les précautions prises pour la détermination la plus exacte des élémens de l'orbite solaire, les tables du soleil construites par M. Delambre en 1786, eurent sur celles de Lacaille et de Mayer un avantage marqué; elles ne s'écartèrent guère des meilleures observations au-delà de 10″, tandis que dans les tables de Lacaille, les erreurs s'élevoient quelquefois jusqu'à 30″; elles avoient aussi sur celles de Mayer à peu près la même supériorité; car en comparant sur les 314 observations de M. Maskelyne, la somme des erreurs des élémens déterminés par M. Delambre, avec la somme des erreurs de ceux de Mayer, la première est de beaucoup inférieure à la seconde.

Les astronomes jouirent presque en même temps et des tables du soleil vérifiées de nouveau en France par M. Delambre, et des tables de la lune de Mayer, perfectionnées en Angleterre par Mason. Ce sont aussi celles qui fixent plus particulièrement leur attention, les tables

du soleil par leur influence sur presque tous les calculs astronomiques, celles de la lune par les services qu'elles rendent à la navigation.

Mayer avoit déjà porté très-loin l'exactitude des tables de cet astre si rebelle au calcul, et les avoit fait concourir au prix des longitudes proposé par le parlement d'Angleterre en 1714. Il mourut avec le chagrin de n'y pouvoir participer. Sa veuve recueillit après lui le fruit de ses travaux; elle reçut trois mille livres sterling, dont ses tables furent jugées dignes, d'après l'examen de l'illustre Bradley. Ce n'étoit qu'une partie de la récompense assignée pour la solution du problème des longitudes (1).

Cependant quelque succès qu'eussent obtenu les tables de Mayer, Mason fut chargé par le Bureau des longitudes de Londres, de chercher les corrections dont elles seroient encore susceptibles. Après les avoir comparées long-temps avec les observations, il trouva qu'elles pourroient en approcher davantage, en faisant entrer dans leur construction plusieurs nouvelles équations indiquées par la théorie même de Mayer, dont la plus grande est égale à 17″ multipliées par les sinus de l'excès de la longitude de la lune sur l'apogée du soleil, en ajoutant 45″ au lieu du nœud, et retranchant 1″ de la longitude moyenne, et 56″ de l'apogée. Les dernières tables de la lune ainsi corrigées et publiées par Mason en 1780, avoient tellement gagné du côté de l'exactitude, que sur 1137 observations contenues dans le recueil de Bradley, il ne s'en est trouvé que 7 dont les erreurs s'élevoient de 30 à 43 secondes. Mais si Mason a donné plus d'exactitude aux tables de Mayer, il n'a point enlevé à son

(1) Le prix proposé en Angleterre pour celui qui trouveroit la longitude en mer à un demi degré près, étoit de vingt mille livres sterling.

illustre précurseur la gloire d'avoir posé le premier les fondemens les plus solides des tables lunaires.

ARTICLE II.

TABLES DE MERCURE, DE VÉNUS ET DE MARS,

PAR LALANDE.

Aux tables dont nous venons de parler, ont été jointes à peu près vers le même temps celles de Mercure, de Vénus et de Mars, calculées par Lalande. Cet astronome célèbre s'est occupé pendant quarante ans de la théorie de ces trois planètes et les tables qu'il en a construites ont été les résultats de ses longs travaux.

A mesure que les observations indiquoient quelque discordance entr'elles et l'état du ciel, il ne se lassoit point de revenir sur les élémens qui devoient servir à leur construction. Souvent il a voulu faire usage des observations anciennes contenues dans l'Almageste de Ptolémée; mais convaincu par les résultats, que malgré le long intervalle de temps qui les sépare des observations modernes, il n'en pouvoit tirer aucun secours, il ne s'est attaché qu'à ces dernières. Les passages de Mercure sur le soleil, ses positions dans les nœuds ascendant et descendant, la discussion d'un grand nombre d'observations faites aux environs des apsides et des plus grandes digressions, ont été les moyens principaux dont il s'est servi pour arriver à la détermination précise des élémens de cette planète.

Pour déterminer ceux de Vénus, il s'est également attaché à ses passages sur le soleil, à commencer par celui du 4 décembre 1639, et les a fait concourir avec un grand nombre de conjonctions inférieures, et pour

ceux de Mars, il a fait usage d'un grand nombre d'oppositions, dont la plupart ont été observées par lui-même depuis 1755.

On ne peut refuser au savant astronome, dont nous parlons ici, la gloire d'avoir rectifié les élémens qu'avoit employés Halley (1) dans la construction de ses tables, et quoiqu'il ait moins emprunté dans ses recherches les secours de la théorie que ceux de l'observation, il s'est souvent approché des résultats des géomètres et des astronomes les plus célèbres (2), de M. Lagrange dans la détermination du mouvement séculaire de l'aphélie de Vénus, de Mayer dans celle du mouvement de l'aphélie de Mercure, et de M. Triesneker dans ses tables de Mars. Ce sont enfin les élémens qu'il a déterminés pour ces trois planètes, qui sont jusqu'à ce jour généralement adoptés par les plus grands astronomes de l'Europe.

---

(1) *Voyez la Comparaison des Elémens employés par Halley et par Lalande, 3e édit. de l'Astronomie de Lalande, tome 2, page 87.*

(2) Lalande avoit réduit le mouvement séculaire de l'aphélie de Vénus à 1° 33′ 14″, en tenant compte seulement des actions de Jupiter et de la terre; mais considérant que l'action de Mercure pouvoit aussi ralentir ce mouvement, il adopta celui qu'avoit déterminé M. Lagrange dans les Mémoires de Berlin de 1782; ce grand géomètre, en tenant compte des actions de toutes les planètes, l'avoit réduit à 1° 21′.

Le mouvement séculaire de l'aphélie de Mercure étoit, suivant Lalande, de 1° 33′ 45″, et son mouvement annuel, d'après Mayer, étoit de 56″, 25; ce qui ne donne par siècle que 25″ de différence entre les deux résultats.

Voyez les Mémoires de l'Académie des sciences, 1785, page 248; *les Mémoires de l'Académie de Berlin pour 1782 et comm. Gotting. tome 3.*

ARTICLE III.

TABLES DE JUPITER ET DE SATURNE,

ET DES SATELLITES DE JUPITER.

PAR M. DELAMBRE.

Les tables de Mercure, de Vénus et de Mars calculées par Lalande, ont été suivies en 1789, de celles de Jupiter et de Saturne, construites par M. Delambre. Vers la fin du siècle dernier, une émulation générale sembloit régner parmi les astronomes ; leur ardeur étoit surtout excitée par les résultats étonnans des nouvelles théories. Celle de Jupiter et de Saturne par M. Laplace, attira l'attention particulière de M. Delambre. Cet habile astronome ne vit point avec indifférence les observations de Saturne, beaucoup mieux représentées par les formules de M. Laplace que par les tables de Halley. Les erreurs de celles-ci s'élevoient à plus de 22′, tandis que par l'application de la nouvelle théorie, elles se trouvoient réduites à moins de 2′. M. Delambre ayant fait l'essai de la même méthode sur Jupiter, pour qui les erreurs des tables étoient d'environ 11′, obtint à peu près le même succès.

Mais l'astronome vouloit retirer des recherches du géomètre tous les avantages qu'il pouvoit en attendre. Il pensa que les oppositions de Jupiter et de Saturne, observées dans les deux derniers siècles, avoient besoin d'une discussion plus exacte. Il entreprit avec le desir d'être utile à l'Astronomie ce travail important et difficile, il fit entrer dans ses calculs toutes les corrections dues aux mouvemens apparens des étoiles. Il augmenta de

de 20″, pour l'effet de l'aberration, les lieux du soleil calculés sur les tables de Mayer. Il prit enfin pour arriver à la plus grande précision toutes ces précautions délicates que l'extrême discordance entre le ciel et les observations rendoit autrefois inutiles, et que les derniers efforts de l'analyse rendent aujourd'hui de plus en plus nécessaires.

Après avoir discuté, avec tout le soin qu'elles pouvoient exiger, près de cent quarante oppositions, tant pour Jupiter que pour Saturne, il leur compara les formules de M. Laplace, en conclut les élémens elliptiques des orbites des deux planètes, qu'il rectifia par la méthode des équations de condition, et construisit sur ces fondemens solides les tables de leurs mouvemens.

L'erreur de ces tables comparées avec les observations les plus modernes (1), s'est trouvée le plus souvent au-dessous de 30″. Cette grande précision est due, non-seulement à la découverte importante faite par M. Laplace sur les causes des variations observées dans les mouvemens de Jupiter et de Saturne, mais encore aux connaissances profondes de l'astronome qui les a construites, et qui, dans la discussion des observations, a su tirer le parti le plus avantageux des formules du géomètre.

Les tables d'Uranus construites par le même et d'après les mêmes principes, ont été publiées peu de temps après. La découverte d'Uranus nous a déjà donné lieu d'en faire mention.

Après avoir construit les tables du soleil et des trois

---

(1) Les observations d'une date antérieure à 1733 ne méritent pas la même confiance, et c'est en remontant au-delà de cette époque que les erreurs surpassent quelquefois 40″.

grandes planètes supérieures, M. Delambre a voulu consacrer encore ses travaux à la sûreté des navigateurs. Les éclipses fréquentes des petits astres qui circulent autour de Jupiter peuvent souvent leur servir de guides dans leurs voyages. La comparaison de leurs calculs avec leurs observations peut leur faire connaître par la différence des temps, la différence des méridiens. Cette comparaison repose essentiellement sur les tables des satellites. Elles exigent donc la plus grande précision ; l'erreur d'une minute de temps entraîneroit celle de 15′ ou d'un quart de degré. Ce sont ces tables précieuses dont M. Delambre a fait présent à la navigation ; elles ont remplacé celles de Wargentin, publiées en 1746, et regardées alors comme les meilleures qui eussent encore paru.

Les tables de M. Delambre, fondées sur les belles découvertes faites par M. Laplace dans le système de Jupiter, sont de beaucoup supérieures à celles de Wargentin par l'exactitude : elles remplissent plus rigoureusement les conditions qui lient ensemble les moyens mouvemens soit sidéraux, soit synodiques, des trois premiers satellites, et celles qui rendent leurs éclipses simultanées à jamais impossibles. La connaissance plus approfondie des effets produits par l'action mutuelle des quatre satellites, tant sur leurs périjoves que sur les excentricités et les positions de leurs orbites, a procuré à M. Delambre les moyens de bannir de ses tables les équations empiriques. « N'empruntant des observations, comme le remarque » l'auteur même de la savante théorie des satellites de » Jupiter (1), que les données indispensables, elles ont

(1) *Exposition du Système du Monde*, 1ère édition, livre 4, chap. 6.

» l'avantage de s'étendre à tous les siècles, en rectifiant » ces données, à mesure qu'elles seront mieux con- » nues. »

Les deux savans illustres dont nous venons de parler, se trouvent souvent associés pour concourir ensemble aux progrès de l'Astronomie, heureuse association dont ses fastes ne présentent que des exemples rares ; elle nous rappelle ici de semblables liaisons formées par les sciences et l'amitié entre Kepler et Tycho, entre Newton et Halley, entre Lacaille et Clairaut.

MM. Laplace et Delambre étoient faits l'un et l'autre pour s'entendre dans un langage au-dessus du commun des hommes; tous deux étoient capables de lire et de renfermer dans l'étroit espace d'une formule algébrique les lois que la nature a données à l'Univers. Le premier, porté par son génie, s'est élevé aux plus hautes spéculations de la théorie; il a pris l'essor de Newton, a suivi les traces de l'aigle dans le ciel, et s'est élancé au-delà des espaces qu'il avoit parcourus. Le second, quoiqu'initié dans tous les secrets de l'analyse, et capable de pénétrer dans ses plus profonds mystères, s'est livré plus particulièrement à de grandes opérations pratiques. Il a mis à profit, pour l'utilité des hommes, les belles découvertes de son illustre associé, qui lui-même a souvent profité de ses travaux. Sans l'un, les bornes de la science n'eussent point été reculées; sans l'autre, la société n'eût point encore recueilli les fruits qu'elle doit attendre de ses progrès.

ARTICLE IV.

ETABLISSEMENT DU BUREAU DES LONGITUDES DE FRANCE,

ET TABLES ASTRONOMIQUES PUBLIÉES EN SON NOM.

Une nouvelle époque se présente maintenant pour le perfectionnement des tables astronomiques. Elle commence à celle de l'établissement du *Bureau des longitudes*, créé en France en 1795, à l'instar du Bureau des longitudes de Londres. Avant que de parler des nouvelles tables qu'il s'occupe encore à publier, je dois dire un mot de cette réunion de savans, chargée spécialement de les perfectionner, et qui joint à cette attribution celle du perfectionnement des méthodes des longitudes, de la rédaction de la *Connaissance des Tems*, de la publication des observations astronomiques et météorologiques.

Les hommes qui furent appelés à la former, l'illustrèrent dès son origine. Dans la première liste de ses membres parurent des noms célèbres, les deux premiers géomètres de l'Europe, MM. Lagrange et Laplace; les astronomes qui s'étoient le plus distingués par leurs travaux dans le calcul et l'observation, Lalande, Méchain, MM. Cassini et Delambre; deux navigateurs renommés par leurs voyages et leurs découvertes, M. Bougainville et Borda; un savant géographe (1) dont les travaux ont été souvent utiles à la navigation; un artiste (2), à qui l'on doit la restauration du plus grand télescope que l'on ait en France.

---

(1) M. Buache.

(2) M. Caroché.

Des membres qui la composèrent à sa première formation, le plus grand nombre nous reste encore; la mort en a frappé quelques-uns, mais ils ont eu de dignes successeurs, parmi lesquels on compte M. Messier, (1) connu par la découverte d'un très-grand nombre de comètes et de beaucoup d'observations astronomiques; Fleurieu (2), à qui la navigation est redevable d'un ouvrage important pour la géographie et la vérification des horloges marines; M. Bouvard (3), émule et concurrent de M. Burg, coopérateur de M. Laplace dans ses calculs astronomiques, auteur des nouvelles tables décimales de Jupiter et de Saturne, qui font partie de celles que publie aujourd'hui le Bureau des longitudes; le neveu d'un astronome célèbre, M. Lefrançais-Lalande, dont nous avons fait connoître le catalogue de 50 mille étoiles.

L'Astronomie repose encore en France sur des appuis solides; quelques jeunes adeptes s'approchent du temple d'Uranie; cependant, pour prévenir sa décadence et la maintenir dans son état actuel de prospérité, il est à desirer que cet œil qui s'est montré si vigilant sur tous les besoins de la nation, s'arrête un instant sur les besoins futurs de la science protectrice de la navigation, et ranime pour elle l'ardeur des jeunes géomètres; que les membres du Bureau des longitudes leur montrent toute l'étendue de la carrière honorable qu'ils ont à parcourir; qu'ils

---

(1) M. Messier a découvert 21 comètes et en a observé plus de 40.

(2) *Voyez* le voyage fait par ordre du roi en 1768 et 1769, en différentes parties du monde, etc., par M. de Fleurieu. Ce navigateur mort depuis peu, vient d'être remplacé au Bureau des longitudes, par M. de Rossel, ancien capitaine de vaisseau, rédacteur et coopérateur du Voyage d'Entrecasteaux.

(3) MM. Burg et Bouvard ont partagé le prix de la première classe de l'Institut en 1800.

établissent une correspondance active avec tous les Observatoires de l'Empire et ceux des pays étrangers; qu'ils s'attachent à propager les méthodes analytiques qui doivent soutenir la science astronomique à sa véritable hauteur; que le monde savant apprenne d'eux que c'est lui donner une marche rétrograde, que de vouloir la faire descendre au niveau du vulgaire; que les grandes questions qu'elle présente ne peuvent être approfondies sans les secours de la plus haute géométrie, que la manie de la populariser à fait souvent de faux astronomes, et que ce n'est jamais par des sentiers faciles que l'on peut arriver vers le terme de la science.

Depuis l'époque de son établissement, le Bureau des longitudes, fidèle au but de son institution, a constamment dirigé ses travaux vers les besoins de la marine; il n'a rien négligé pour établir à l'Observatoire de Paris un cours régulier d'observations (1), pour rendre utiles les autres Observatoires de l'Empire, dont la direction lui est confiée, pour surveiller les calculs de la *Connaissance des Tems*, manuel nécessaire des astronomes et des navigateurs; mais il n'a point oublié que le perfectionnement des tables astronomiques étoit aussi l'une de ses principales attributions.

D'après un nouvel examen de quelques points importans de la théorie, la révision du calcul des perturbations des planètes, la rectification de leurs élémens et de ceux des satellites, toutes les tables de leurs mouvemens

(1) Les observations faites à l'Observatoire de Paris avec d'excellens instrumens acquis par le Bureau des longitudes et publiées chaque année dans la Connaissance des Tems, peuvent rivaliser aujourd'hui avec les meilleures de l'Observatoire de Greenwich.

ont été renouvelées. Le Bureau des longitudes a donné l'impulsion, et l'ouvrage d'un demi-siècle s'est achevé en moins de dix ans.

Je vais parler des nouvelles tables qu'il a publiées jusqu'à ce jour, en faisant remarquer seulement les principaux changemens qui les distinguent des anciennes. Ces tables sont celles du soleil, par M. Delambre; celles de la lune, par M. Burg, astronome de Vienne; celles de Jupiter et de Saturne, par M. Bouvard; et celles des satellites de Jupiter par M. Delambre.

Les nouvelles tables du soleil sont précédées de deux petites tables très-importantes.

La première contient les latitudes et longitudes des lieux les plus remarquables de la terre. Elle est destinée à la réduction des observations faites dans ces lieux au temps et au méridien de Paris, ou des observations faites à Paris au temps et aux méridiens de ces lieux. C'est par elles que peuvent correspondre ensemble l'Observatoire de Paris et les Observatoires situés dans les diverses parties du monde.

La seconde table contient la correspondance des Calendriers français et grégorien. Elle est nécessaire pour convertir la date d'une observation faite en France pendant l'existence du Calendrier républicain, en une date grégorienne, et réciproquement. C'est sur la solution de ce double problème que repose (1) sa construction, ainsi que sur les différences que présentent les deux Calendriers touchant l'époque, le nombre de jours de chaque mois et la règle d'intercalation.

---

(1) *Tables astronomiques*, feuille A.

Les nouvelles tables diffèrent d'abord généralement des anciennes dans la manière de compter les époques des longitudes et les anomalies.

Les époques des longitudes peuvent être comptées en temps civil et en temps astronomique ; en temps civil, lorsque le commencement du jour est fixé à minuit ; en temps astronomique, lorsque le jour commence à midi. Le temps civil et le temps astronomique ont eu l'un et l'autre, depuis long-temps, des partisans d'un grand nom ; parmi ceux du premier, on compte Hipparque, Rheinold et Copernic ; parmi ceux du second, Ptolémée et presque tous les astronomes qui l'ont suivi. Les premiers sont entraînés par l'opinion du vulgaire, qui commence le jour à minuit ; les seconds sont déterminés par le passage du soleil au méridien, qui fixe l'instant précis d'où l'on peut compter les 24 heures dont le jour est composé, instant qui ne leur paroît pas déterminé d'une manière assez précise vers le milieu de la nuit, pour ne pas laisser quelque incertitude sur le jour auquel doivent appartenir les observations faites vers cette époque de la révolution diurne. On observe d'un autre côté, que dans leurs Ephémérides, les astronomes sont souvent obligés de s'adresser à la multitude, qu'ils ne peuvent alors parler que son langage, que d'une double manière de compter le temps, naissent de fréquentes méprises. Le Bureau des longitudes a pensé que le seul moyen de les éviter étoit de revenir à la méthode d'Hipparque, et de suivre le torrent populaire. Il a donc arrêté de n'employer désormais que le temps civil dans tous les ouvrages qu'il pourra publier, et par conséquent de fixer sans distinction toutes les époques de ses tables au 1er janvier à minuit, c'est-à-dire à l'instant où commence l'année.

Le



Le Bureau des longitudes s'est encore écarté de l'ancienne manière de compter les anomalies, en calculant les mouvemens célestes à partir du périhélie. Considérant que les comètes sont des astres semblables aux planètes, que leur cours est aussi régulier, leur existence aussi durable, mais qu'elles ne peuvent être aperçues que vers leur périhélie, et que ce n'est que d'après leur passage par ce point, que leurs mouvemens peuvent être comptés; pour suivre une règle commune relativement à tous les corps célestes, il a pensé, comme Lacaille, que les mouvemens des planètes devoient être aussi comptés du même point. Il a donc cru devoir adopter cet usage dans ses nouvelles tables, et le donner pour exemple aux astronomes de l'Europe.

NOUVELLES TABLES DU SOLEIL,

DE M. DELAMBRE.

Passons maintenant aux changemens particuliers que présentent les nouvelles tables du soleil de M. Delambre. Ce savant astronome a pris toutes les précautions nécessaires pour leur plus grande exactitude. Il a déduit les longitudes moyennes, employées dans ces tables, de près de deux mille observations. Il a déduit également de la comparaison de l'époque de 1752, déterminée par 720 observations de Bradley avec celle de 1802, conclue de près de 400 passages du soleil au méridien, et de quatre équinoxes déterminés chacun par plusieurs centaines d'observations faites au cercle de Borda, un mouvement séculaire moyen moindre de 15″ que celui de ses premières tables. Il a fait aussi, d'après les observations de

plus de douze cents étoiles comparées aux observations de Mayer, Lacaille et Bradley, une diminution de 15″ sur le mouvement séculaire des équinoxes. Le soleil et les étoiles ont opéré d'accord une même réduction. Ils concourent ensemble à démontrer la plus grande précision dans les déterminations de leurs mouvemens.

M. Delambre a compris dans la table des époques des longitudes moyennes du soleil et des argumens de ses inégalités toutes les années depuis 1750 jusqu'à 1900; il a donné de plus dans une petite table supplémentaire qui la suit, les moyens de trouver toutes les époques des vingt-six siècles qui précèdent, et des vingt siècles qui doivent suivre le temps présent; ainsi les nombres renfermés dans quelques pages, peuvent, aux yeux de l'astronome, représenter l'état du ciel pendant près de cinq mille ans. Voyons maintenant par quels artifices il parvient à comprendre ainsi dans ses calculs un si long intervalle de temps.

La précession moyenne des équinoxes est réduite par M. Delambre, d'après ses observations de plus de douze cents étoiles, à 50″, 10; douze solstices observés avec le cercle entier de Borda, lui donnèrent pour 1800, l'obliquité moyenne de l'écliptique de 23° 27′ 57″; il suppose, d'après les calculs les plus rigoureux, la plus grande équation du centre pour 1810, de 1° 55′ 27″. Il suppose enfin le mouvement du périgée proportionnel au temps; mais la précession des équinoxes, l'obliquité de l'écliptique et la grande équation du centre s'écartent sans cesse de l'état moyen qu'on leur suppose, le périgée ne suit point dans son mouvement la loi de l'uniformité. Leurs écarts demandent des corrections. M. Delambre a construit d'après

les formules de M. Laplace (1), une table de leurs variations séculaires; c'est par son secours que l'astronome peut revenir sans cesse au véritable état du ciel et franchir, pour ainsi dire, toutes les bornes que le temps paroît devoir lui prescrire.

Dans le calcul des tables des perturbations tant de la longitude que du rayon vecteur, M. Delambre à rejeté toute méthode indirecte; telle est celle des interpolations, au moyen de laquelle ont été quelquefois construites les tables des inégalités des planètes; il ne s'est appuyé que sur des formules dont les coëfficiens ont été déterminés par la théorie (2) de M. Laplace; il a formé cinq tables séparées pour les perturbations de la longitude dépendantes de la lune, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne, autant pour celles du rayon vecteur.

M. Delambre ne voulant négliger aucune des quantités dont il étoit possible de tenir compte dans les mouvemens du soleil, a construit une table de la partie variable de l'aberration de cet astre, c'est-à-dire, de celle qui dépend de l'excentricité de l'orbite terrestre, et dont le *maximum* ne s'élève guère au-delà de 34 centièmes de seconde.

La quantité de l'aberration est d'autant plus grande que le mouvement de la terre est plus rapide. Ce mouvement augmente ou diminue, suivant ses diverses positions dans son orbite, positions qui font varier ses distances au soleil, son mouvement et par conséquent la quantité de l'aberration; ce sont ces variations qu'indique la table de M. Delambre.

---

(1) *Voyez la Mécanique céleste*, tome 3, page 187.

(2) *Voyez la Mécanique céleste*, tome 3.

La quantité moyenne de l'aberration, suivant Bradley, est de 20″; mais cette quantité étant déterminée par la combinaison du mouvement de la lumière avec celui de la terre, elle est d'autant plus grande que la lumière emploie plus de temps pour arriver du soleil jusqu'à nous. Ce temps, suivant les calculs de M. Delambre sur les éclipses du premier satellite de Jupiter, doit être de 8′ 13″, au lieu de 8′ 7″, comme on l'avoit cru jusqu'à ce jour. Si la terre en 8′ 7″ décrit un arc de 20″, en un temps plus grand de 6″, elle doit décrire $\frac{1}{80}$ de plus que l'arc qu'elle décrit; M. Delambre prévient en conséquence, que tous les nombres de la table qu'il a construite, doivent être augmentés, comme ceux de toutes les tables d'aberration publiées jusqu'ici, de $\frac{1}{80}$.

Une autre quantité très-petite qui n'avoit point encore trouvé place dans les calculs astronomiques, est celle qui résulte du mouvement du soleil en latitude. Les astronomes avoient toujours fixé son mouvement dans le plan de l'écliptique, sans examiner s'il pouvoit s'en écarter. M. Laplace ayant pensé que les actions combinées de la lune, de Vénus et de Jupiter, pouvoient le faire osciller tant soit peu dans ce plan, a calculé (1) le premier, les effets de cette oscillation, et c'est sur la théorie de ce géomètre que M. Delambre a construit une table particulière destinée à corriger les longitudes, les ascensions droites et les déclinaisons du soleil, lorsqu'une grande précision (2) devient nécessaire, comme dans les observations des équinoxes et des solstices, ou lorsqu'il

---

(1) *Voyez la Mécanique céleste*, tome 3, pages 106 et 108.

(2) *Tables Astronomiques.*

s'agit de comparer les tables du soleil à d'excellentes observations. On peut juger du degré d'exactitude auquel l'observateur est maintenant entraîné par la théorie, si l'on fait attention que la plus grande correction de la longitude indiquée par cette nouvelle table, n'est que de 43 centièmes de seconde, que celle de l'ascension droite est de 40 centièmes et celle de la déclinaison d'une seconde. On peut juger aussi des soins donnés par M. Delambre à ses nouvelles tables du soleil (1). De semblables précautions doivent leur assurer une longue durée.

D'autres tables du soleil également remarquables par une grande exactitude, ont été publiées par M. de Zach en 1804 (2); les deux auteurs ne diffèrent dans l'époque de la longitude moyenne, que de 9 dixièmes de seconde, dans la longitude du périgée, d'environ 1″, et dans l'équation du centre, de 17 centièmes de seconde. Les différens résultats de M. Delambre ont été déduits de plus de quatorze cents observations tant de Bradley, que de MM. Maskelyne et Bouvard, et de quatre équinoxes qu'il a déterminés chacun par plus de trois cents observations. M. de Zach a déduit les siens des observations faites à l'Observatoire de Seeberg. On peut être sans doute étonné de l'accord qui se trouve entre des résultats fournis par tant d'observations différentes.

Les tables de M. Delambre n'ont été publiées qu'en

(1) Les nouvelles tables du soleil de M. Delambre, ont obtenu une mention honorable, d'après le jugement porté sur les prix décennaux.

(2) Les tables de M. de Zach ont été imprimées à Saxe-Gotha, sous ce titre : *Tabulæ motuum solis novæ iterùm correctæ ex theoria gravitatis clarissimi* Delaplace, *et ex observationibus recentissimis in speculâ astronomicâ Ernestinâ habitis erutæ, auctore Francisco lib. bar.* de Zach, *supplementum ad tabulas motuum solis, anno 1792, editas.*

1806, et cependant on ne peut pas dire qu'il ait rien emprunté de celles de M. de Zach; ses tables avoient été adoptées par le Bureau des longitudes dès le commencement de 1803, et leur publication n'a été suspendue que pour attendre quelques éclaircissemens demandés à M. Maskelyne sur une correction faite aux positions des étoiles de son catalogue.

De plus, M. de Zach reconnoît lui-même, que les recherches faites sur les masses de la Lune, de Vénus et de Mars, et les dérangemens qu'elles produisent, appartiennent à M. Delambre. Ces recherches sont insérées dans le 3e volume de la Mécanique céleste, publié en 1802, et elles en ont été tirées par M. de Zach, telles qu'elles ont été déterminées par M. Delambre.

Il résulte de l'exposition de ces faits, que les tables du soleil construites par ce dernier, sont entièrement le fruit de ses travaux, qu'elles lui doivent toute leur exactitude; mais que l'ouvrage de M. de Zach doit tenir un rang distingué à côté de celui de M. Delambre et mérite également une grande confiance.

TABLES DE LA LUNE,

DE M. BURG.

Nous avons maintenant à parler des tables lunaires de M. Burg, des circonstances qui les ont accompagnées vers le temps de leur naissance, et des principaux moyens de perfectionnement employés par l'auteur pour les élever au degré de précision qu'elles ont obtenue; remontons pour cet objet, à l'origine des premiers travaux de M. Burg sur les mouvemens de cet astre.

L'Institut national de France avoit proposé pour le sujet du prix qui devoit être proclamé dans la séance

publique du 5 avril 1800, la détermination des époques des moyens mouvemens, de la longitude moyenne de l'apogée et du nœud. Le prix fut partagé par MM. Burg et Bouvard. Les deux concurrens, en adoptant les équations séculaires données par la théorie, démontrèrent la nécessité de corriger les moyens mouvemens séculaires de l'apogée et du nœud, et leurs recherches prouvèrent la possibilité de corriger également les autres élémens des tables lunaires.

Ces tables avoient besoin d'une prochaine réforme; les erreurs qu'elles présentoient, alloient chaque jour en augmentant. Les deux pièces couronnées ayant fait naître des espérances d'amélioration, le Bureau des longitudes qui les partagea vivement, voulut faire tourner à l'avantage de l'Astronomie et de la Navigation les travaux commencés, et surtout les faire jouir promptement l'une et l'autre de la restauration des tables lunaires; il demanda en conséquence l'autorisation du Gouvernement pour proposer un prix, dont l'objet seroit de discuter et d'établir par la comparaison avec un grand nombre de bonnes observations, les valeurs des coëfficiens des inégalités de la lune, et de donner pour la longitude, la latitude et la parallaxe de cet astre, des formules plus exactes et plus complètes que les formules connues, et de construire sur ces fondemens des tables d'une étendue suffisante pour la commodité et la sûreté des calculs.

Les vœux du Bureau des longitudes furent remplis. Le 10 décembre 1801, il reçut les tables de la lune de M. Burg à qui fut décerné le prix proposé. Cet astronome eut l'avantage de voir doubler par la munificence de l'Empereur, alors premier Consul, la récompense qu'avoient obtenue ses longues et pénibles recherches.

Pour construire ses tables, l'auteur avoit rassemblé

plus de 3200 observations faites à Greenwich, depuis 1765 jusqu'à 1793; il avoit établi sur cette base solide un même nombre d'équations de condition, et c'est par elles qu'il trouva d'abord la correction de l'époque pour 1779, temps correspondant au milieu de la longue série d'observations dont il avoit fait usage. La longitude moyenne de la lune pour ce temps lui parut même devoir être un des élémens les mieux assurés de toute l'Astronomie.

Treize cents équations de condition lui servirent également à déterminer l'anomalie moyenne pour le même temps et avec une égale exactitude. C'est par ces sortes de travaux qu'il a préparé à l'Astronomie future les plus heureux résultats, tant sur le moyen mouvement de la lune, que sur celui de son apogée. L'on aura sans doute peu de chose à desirer sur ses mouvemens séculaires, lorsqu'après un intervalle de temps suffisant, d'autres époques auront été fixées de la même manière et comparées à celle de 1779.

Pour déterminer chaque coëfficient des inégalités, M. Burg employoit neuf à douze cents observations; malgré leur nombre, il regardoit une première détermination comme insuffisante et seulement comme préparatoire; elle lui servoit à corriger tous les termes de la formule. Il déterminoit ensuite de nouveau chaque coëfficient, et ne s'arrêtoit dans ses opérations que lorque deux approximations consécutives ne lui présentoient plus dans les corrections obtenues que des différences peu sensibles.

D'après le grand nombre d'observations qu'il a discutées, il a trouvé pour le mouvement séculaire de l'apogée, une correction soustractive de 7' 10", et pour le mouvement séculaire du nœud, une correction additive de

de 40″ seulement. La première paroît exactement déterminée, mais la seconde n'est pas tout-à-fait d'accord avec les observations anciennes; car il en résulteroit, d'après les calculs de M. Bouvard, que l'éclipse de lune observée le 23 décembre de l'an 382 avant l'ère vulgaire, n'a point eu lieu, quoique cette éclipse soit très-bien constatée. Pour satisfaire à cetté observation, ainsi qu'à la presque-totalité des observations anciennes et modernes, il paroît nécessaire d'augmenter le mouvement séculaire du nœud d'environ deux minutes par siècle. C'est peut-être la seule correction importante que demandent les tables de M. Burg.

Il a fait peu de changemens à la formule de la latitude. Le plus considérable de tous est l'addition d'une nouvelle équation que la théorie a fait connoître à M. Laplace, et dont l'argument est la longitude vraie de la lune. Son coëfficient déterminé par M. Burg, d'après la comparaison d'un très-grand nombre d'observations de M. Maskelyne, est égal à — 8″.

En examinant aussi les corrections que pouvoit subir la parallaxe horizontale, M. Burg reconnut la nécessité de la diminuer; cette nécessité lui fut démontrée par la comparaison qu'il fit entre elles des plus grandes latitudes australes et boréales, par la longueur du pendule simple observée sous l'équateur, par des occultations d'étoiles observées en même temps à des latitudes très-différentes. Il trouva que sa diminution devoit être d'environ 10″; en conséquence il adopta pour la constante de la parallaxe équatoriale 57′ 1″, au lieu de celle de 57′ 11″ que Mayer avoit supposée dans ses tables.

Pour trouver la parallaxe horizontale à une hauteur quelconque du pôle, Mayer avoit supposé l'applatisse-

ment de la terre de $\frac{1}{330}$, et M. Burg a supposé deux applatissemens différens l'un de $\frac{1}{300}$ et l'autre de $\frac{1}{330}$.

Le rapport qui lie le diamètre de la lune à sa parallaxe équatoriale est encore différent dans les nouvelles tables ; ce rapport, suivant Mayer, étoit de 32′ 42″ à 60′. Il est, suivant M. Burg, de 32′ 45″,1 à 60′. Ses résultats sur le diamètre de la lune, ont été déduits des occultations d'étoiles et des mesures données directement par le moyen d'un micromètre de Dollond.

Telle est l'esquisse imparfaite des différentes opérations préliminaires de M. Burg, pour arriver à la construction de ses tables. Elles ont amené différens changemens aux coëfficiens des inégalités. Elles ont introduit dans les tables lunaires six équations qui n'avoient pas été comprises dans celles de Mayer et de Mason. Nous devons ajouter encore qu'elles ont confirmé l'existence des équations séculaires de la longitude moyenne, de l'anomalie et du nœud qu'avoit découvertes M. Laplace, et dont les deux pièces couronnées par l'Institut, avoient déja fait reconnoître les avantages.

Cependant une découverte manquoit encore à la perfection des tables de M. Burg ; cet astronome étoit embarrassé des anomalies du moyen mouvement. Les comparaisons des observations faites à différentes époques, tendoient toutes à le diminuer, les unes de 27″,6, d'autres de 54″,3 ; les observations les plus récentes indiquoient même une diminution de 66″. Le peu d'accord qu'il trouvoit dans les diverses époques comparées, le laissoit flotter dans une grande incertitude sur le mouvement qu'il devoit adopter ; mais enfin obligé de faire un choix sur les observations qui devoient concourir à fixer cet élément, il le détermina, d'après celles de Bradley, comparées à l'époque fondamentale de 1779,

et supposa le moyen mouvement annuel de $4^s\ 9^o\ 23'\ 4'',85$.

C'est sur ce fondement qu'il construisit ses tables. Dès qu'elles furent achevées, son premier soin fut de les éprouver. Cette épreuve lui fit connoître que l'époque étoit trop avancée de 10''; une erreur de 10'' sur un élément qui demande autant de précision, lui paroissoit trop considérable; le succès ne répondoit pas à ses espérances. Après de longs efforts, les observations ne lui laissoient plus rien entrevoir de certain, si ce n'est l'existence de quelque équation inconnue, qui produisoit sensiblement à diverses époques des effets différens. Il crut que le meilleur parti qu'il avoit à prendre dans cette circonstance, étoit de corriger l'époque de la quantité dont elle étoit trop avancée; il étoit persuadé qu'au moyen de cette correction, les erreurs de ses tables ne s'éleveroient pas pendant quelques années au-delà de 10 à 12'', que pendant l'intervalle de temps où les erreurs seroient peu sensibles, de nouvelles recherches assureroient encore aux tables une pareille exactitude pour plusieurs autres années, qu'après quelques corrections ainsi répétées, cet état provisoire cesseroit enfin, et que tôt ou tard la cause des irrégularités du moyen mouvement seroit découverte.

L'espérance de M. Burg ne fut pas trompée. Tandis qu'il luttoit avec effort et sans succès contre des difficultés qu'il n'avoit pas prévues, M. Laplace annonçoit à l'Institut national, la découverte de l'équation qui devoit régulariser enfin la marche inconstante du satellite; c'étoit précisément l'une de ces équations à longue période, dont cet illustre géomètre avoit déjà depuis long-temps soupçonné l'existence et qu'il étoit difficile de démêler à travers le grand nombre d'inégalités lunaires

qui se confondent et se développent de tant de manières différentes. M. Laplace l'ayant séparée des autres, déterminé sa forme et sa période, la proposoit aux astronomes comme le seul moyen de corriger les anomalies observées dans le moyen mouvement.

M. Burg profita de la découverte de l'équation; mais ce ne fut pas sans obstacle, à cause de l'étendue de sa période dont la durée embrasse 184 ans. En comparant les observations avec ses tables, il devoit choisir surtout celles des temps où le moyen mouvement se trouvoit dégagé des effets de la nouvelle équation; elle étoit nulle vers 1712; elle l'étoit aussi vers 1802. Cette dernière époque étoit connue, il étoit important de connoître également la première et de les comparer. L'une et l'autre devoient donner un mouvement indépendant de la nouvelle inégalité.

On ne pouvoit accorder une entière confiance aux observations faites vers 1712; M. Burg eut recours, pour remplir son objet, à des occultations d'étoiles; leurs mouvemens propres étant connus avec assez de précision, leurs véritables positions, ainsi que celles de la lune qui les éclipse, peuvent être assignées exactement pour un temps assez éloigné. La comparaison faite des positions de cet astre en 1709 et 1802 lui donna le moyen de conclure son mouvement pour 93 ans de $2^s\ 22^\circ\ 39'\ 12''$, mouvement qui, suivant ses tables, étoit de $2^s\ 22^\circ\ 39'\ 21'',6$. Il conclut aussi de quelques autres occultations d'étoiles et des observations faites à Greenwich vers 1776, époque où la nouvelle équation étoit sensible et de même valeur, le mouvement de la lune pour 38 ans de $0^s\ 8^\circ\ 22'\ 55'',5$, mouvement qui, suivant les mêmes tables, étoit de $0^s\ 8^\circ\ 22'\ 54''$. La comparaison des deux résultats précédens, lui donna la correction du moyen mouvement, de

manière à renfermer ses erreurs pour un siècle dans les limites de 5 à 6″.

M. Burg ayant ainsi écarté toute l'influence que pouvoit avoir la nouvelle équation sur les erreurs du moyen mouvement, s'est attaché à déterminer le coëfficient de cette même équation. Il a comparé, pour cet effet, différentes époques, en a déduit quatre déterminations dont le milieu lui a donné pour le coëfficient cherché 14″, 9. Le même coëfficient, suivant M. Laplace qui l'a déterminé par des moyens différens, est de 15″, 4 (1); il ne se trouve donc entre les résultats de l'astronome et du géomètre qu'une demi-seconde de différence.

Cet exposé rapide ne peut donner qu'une foible idée des travaux immenses de M. Burg sur tous les élémens des tables lunaires; il n'a rien négligé de tout ce qui pouvoit tendre à leur perfection, et ce n'étoit pas une tâche facile à remplir que de s'élever au-dessus de Mayer et de Mason, de Mayer qui le premier (2) avoit construit des tables lunaires assez précises pour servir à la solution du problème des longitudes, de Mason qui les avoit perfectionnées. Si M. Burg s'est encore avancé au-delà de ses deux prédécesseurs, c'est en profitant des nouveaux efforts de la théorie et de l'exactitude des nouvelles observations. Il a mis à contribution tous les mémoires, tous les recueils pour enchaîner l'inconstance de notre satellite. Il est redevable à la nouvelle équation de M. Laplace, des changemens importans opérés dans les époques et le moyen mouvement, changemens qui donnent à ses tables la stabilité qui manquoit aux anciennes. C'est cette stabilité qui jointe à leur grande pré-

(1) *Mécanique céleste*, tome 3, page 294.

(2) *Ibid.* p. 171.

cision leur procurera sans doute l'avantage de faire époque dans l'histoire de l'Astronomie et de la navigation.

Ces tables ont été mises à l'épreuve par le Bureau des longitudes, qui les a comparées à 148 observations choisies faites à Paris, Greenwich et Seeberg. Les erreurs qui se sont manifestées à la suite de cette comparaison ont été rarement de 12 ou 15″. Une épreuve aussi favorable à fait placer les tables de la lune de M. Burg au-dessus de toutes celles qui les ont précédées; le Bureau des longitudes, en leur donnant le prix qu'il avoit proposé, s'est encore empressé de les adopter et de les mettre au nombre de celles qui sont publiées en son nom.

TABLES DÉCIMALES DE JUPITER ET DE SATURNE,

DE M. BOUVARD.

A la suite des tables de M. Burg, ont été placées celles de Jupiter et de Saturne, construites par M. Bouvard; elles sont les premières qui aient été calculées suivant la division décimale du jour et de la circonférence du cercle, nouveauté remarquable sanctionnée par le Bureau des longitudes! Puisse se répandre dans les calculs astronomiques un usage si propre à les simplifier!

On sera peut-être étonné que les excellentes tables de Jupiter et de Saturne, publiées par M. Delambre en 1789, aient été sitôt suivies de celles des deux mêmes planètes, calculées par M. Bouvard.

Ceux qui savent que ces sortes de travaux s'accumulent sans se nuire, sauront gré à M. Bouvard de sa nouvelle tentative. Les tables astronomiques ne se perfectionnent

que par le temps; c'est par lui seul qu'elles peuvent arriver au dernier degré de précision. Chaque astronome, en continuant sur cet objet ce que ses prédécesseurs ont commencé, ce que souvent l'état des connoissances et les observations ne leur ont pas permis d'achever, ne peut être animé de l'esprit de rivalité, mais seulement de la noble ambition d'être utile aux progrès de la science, et comme il ne croit pas lui-même avoir atteint les bornes de la perfection, il attend à la fin de ses longues et pénibles recherches, des successeurs qui profitent comme lui, pour arriver au but desiré, des avantages que le temps pourra leur procurer.

Deux raisons principales ont déterminé M. Bouvard à la construction de ses tables de Jupiter et de Saturne, la connoissance plus approfondie de leurs perturbations, leurs oppositions nouvellement observées depuis 1787, dont il pouvait attendre des résultats plus précis que de celles de Flamsteed et autres, observées avant l'usage de la lunette méridienne.

M. Bouvard a principalement employé à la recherche de leurs élémens elliptiques, les oppositions déduites des observations de Bradley, de Maskelyne, et de celles qu'il a faites lui-même à l'Observatoire de Paris, depuis 1796 jusqu'en 1807; mais les valeurs des élémens elliptiques sont mêlées à celles des perturbations qu'éprouvent les deux planètes par leur influence réciproque et par celle d'Uranus. M. Bouvard a donc commencé par réduire en tables ces perturbations qu'il a calculées d'après les formules données par M. Laplace, dans sa Mécanique céleste (1). Ayant ensuite emprunté de M. Delambre la

(1) *Voyez la Théorie de Jupiter*, tome 3, p. 120, *et de Saturne*, p. 134.

longitude moyenne, celles du périhélie et du nœud pour l'époque de 1750, il a composé la table des époques des moyens mouvemens et celles des argumens des perturbations, et pour arriver à leurs véritables corrections, il a fondé sur les 104 oppositions qu'il avoit choisies, 50 équations de condition pour Jupiter et 54 pour Saturne. Il a fait entrer dans les équations de condition relatives à Jupiter la correction de la masse de Saturne dont la valeur présentoit encore quelque incertitude. Il avoit trouvé d'abord qu'elle devoit être diminuée de sa 22e partie; mais ayant corrigé de nouveau les élémens elliptiques des deux planètes, d'après quelques recherches nouvelles faites par M. Laplace, il a trouvé que la correction de la masse de Saturne devoit être environ dix fois moindre que celle qu'il avoit d'abord déterminée, ou qu'elle devoit être à peu près diminuée en totalité de la 20e partie de sa valeur (1).

Dans la formation des tables de Saturne, il a négligé, comme peu propres à les rendre sensiblement plus exactes, les corrections des masses de Jupiter et d'Uranus, qu'il a conclues de ses équations de condition. La première, à cause de son extrême petitesse (2); la seconde, à cause de l'incertitude qu'elle présente encore. Le mouvement de Saturne n'éprouve pas assez puissamment l'action d'Uranus pour donner sur la correction de la masse de cette planète une détermination précise.

(1) La correction de la masse de Saturne a été trouvée exactement de $\frac{1}{20,231}$ ce qui le réduit à $\frac{1}{2534,08}$.

(2) La masse de Jupiter est depuis long-temps très-exactement connue par les élongations de ses satellites. La correction de cette masse indiquée par l'élimination des inconnues dans les équations de condition établies, devoit donc être peu sensible.

Les

Les corrections indiquées par les équations de condition, ainsi que celles de la masse de Saturne, ayant été substituées dans les élémens elliptiques, M. Bouvard a composé les formules de la longitude héliocentrique, du rayon vecteur et de la latitude qui devoient servir de bases à ses tables. Construites d'après ces dispositions préliminaires, elles ont l'avantage de représenter les observations des Arabes (1) dans le dixième siècle, avec toute l'exactitude dont les observations de cette époque sont susceptibles. Elles représentent aussi avec une rare précision, toutes les oppositions des deux planètes, depuis 1750 jusqu'en 1807. La plus grande quantité dont elles s'en écartent ne s'élève qu'à 13″ sexagesimales. Les erreurs des tables de Halley étoient cent fois plus grandes; mais à l'époque de leur formation, la cause des grandes inégalités de Jupiter et de Saturne n'étoit pas connue, et les astronomes étoient encore réduits, pour pallier quelque temps les erreurs toujours croissantes de leurs tables, à l'usage fréquent des équations empiriques; le grand géomètre dont les nombreuses découvertes ont donné dans ces derniers temps une nouvelle illustration à la doctrine de Newton, leur a substitué des lois invariables et des principes certains, et c'est par eux que les tables astronomiques sont devenues beaucoup plus exactes qu'elles ne l'avoient jamais été.

(1) M. Bouvard ayant calculé, d'après ses Tables, la différence des longitudes géocentriques de Jupiter et de Saturne à l'instant d'une conjonction de ces deux astres, observée au Caire en 1007 par Ebn-Iounis, a trouvé que cette différence n'excède que d'environ cinq minutes sexagésimales celle qu'a déterminée l'astronome arabe, excès moindre que les erreurs dont les observations étoient alors susceptibles.

Les Tables de M. Bouvard ont été jugées dignes d'une mention honorable dans le rapport du jury institué pour les prix décennaux.

NOUVELLES TABLES DES SATELLITES DE JUPITER,

DE M. DELAMBRE.

Le degré de précision auquel s'élève aujourd'hui le calcul des mouvemens célestes devient surtout d'une grande importance, lorsqu'il s'agit de représenter ceux des petits astres qui circulent autour de Jupiter. Nous avons vu que M. Delambre en avoit déjà construit des tables exemptes de tout empirisme et dont l'exactitude laissoit peu de chose à desirer; mais ce grand astronome auroit cru n'avoir rien fait pour la géographie et la navigation, si son ouvrage ne se trouvoit au niveau de la théorie.

Les dérangemens qu'éprouvent les satellites de Jupiter par leurs actions réciproques, dépendent de leurs masses (1), et lorsque celles-ci sont mieux connues, les effets qu'elles produisent sont mieux déterminés. M. Laplace a fait sur cet objet de nouvelles recherches qu'il a consignées dans le quatrième volume de la Mécanique céleste. M. Delambre a vérifié de nouveau, d'après cette

(1) Déterminations des masses des satellites de Jupiter par M. Laplace, celle de la planète étant prise pour unité.

	Déterminations anciennes.	Nouvelles.
I. Satellite	0,0000172011	0,0000173281
II. Sat.	0,0000237103	0,0000232355
III. Sat.	0,0000872128	0,0000884972
IV. Sat.	0,0000544681	0,0000426591

Exposition du Système du Monde, 1ere édit., liv. 4, chap. 6.
Mécanique céleste, tome 4, pages 126 et 346.

théorie perfectionnée, ses tables des satellites de Jupiter, en les comparant à la totalité des observations qui ont été faites depuis la découverte des satellites jusqu'à l'époque de son travail; il a rendu plus nombreuses les tables de leurs perturbations; il a porté plus d'exactitude dans celles qui se rapportent à l'équation de la lumière, en tenant compte de toutes les causes variables qui la modifient.

Cependant on peut dire que, malgré les attentions les plus scrupuleuses sur toutes les parties de son ouvrage, l'auteur n'a pu parvenir sans peine à se surpasser lui-même, que la distance est peu sensible entre les résultats de son ancien et de son nouveau travail; mais aux yeux du véritable savant, la moindre amélioration est d'un prix inestimable pour la science.

APPENDICE

Sur les principaux ouvrages Astronomiques publiés depuis 1781, et sur quelques astronomes célèbres morts depuis cette époque.

Après avoir exposé les derniers travaux exécutés sur la mesure de la terre, sur la formation des catalogues d'étoiles et des tables des mouvemens célestes, nous croyons devoir donner une idée des principaux ouvrages publiés sur l'Astronomie depuis 1781, rappeler la mémoire de quelques hommes célèbres qu'elle a perdus depuis cette époque, et terminer ainsi l'Histoire de ses progrès et des événemens qui l'intéressent pendant la période des trente années qui viennent de s'écouler.

L'un des premiers ouvrages remarquables qui se présente depuis 1781, est la *Cométographie* de Pingré, qui parut en 1783. L'auteur a développé dans cet ouvrage les opinions des philosophes anciens et modernes sur la nature des comètes; il a donné l'Histoire générale de toutes celles qui se sont montrées à la terre pendant plus de 3500 ans; il a fait connoître les différens systèmes qu'elles ont produits et les méthodes imaginées pour calculer leurs orbites depuis celles qui furent employées par Apien, Tycho et Hévélius, jusqu'à celles de Newton et des grands géomètres modernes. Les différens points de vue sous lesquels il a présenté l'histoire des comètes supposent un très-grand nombre de recherches et des

connoissances très-étendues sur le système du monde, et l'on peut croire que quand Pingré n'auroit publié d'autre ouvrage que sa Cométographie, elle auroit suffi pour lui donner la réputation d'un astronome habile et très-laborieux.

L'année 1785 nous offre le recueil des ouvrages de Boscovich, sur l'Optique et l'Astronomie. Les deux premiers volumes contiennent beaucoup de questions relatives aux lunettes achromatiques, parmi lesquelles se trouvent la description et l'usage d'un instrument propre à découvrir les forces des différens verres et la différente réfrangibilité des rayons de la lumière par rapport aux diverses substances réfringentes, les formules nécessaires pour calculer les rayons de sphéricité des lentilles qui doivent former les objectifs, les combinaisons d'oculaires qui peuvent détruire les couleurs de l'iris, les moyens de déterminer les différences de vîtesse de la lumière dans différens milieux plus ou moins denses; enfin la Théorie des réfractions considérée comme faisant partie de l'Optique.

Les volumes suivans, qui sont au nombre de trois, contiennent une méthode pour déterminer l'orbite d'une comète, plusieurs Théories relatives à la planète Uranus, les moyens de vérifier tous les instrumens en usage dans l'Astronomie, diverses questions sur l'apparition et la disparition de l'anneau de Saturne, sur les moyens de déterminer la rotation du soleil par les observations de ses taches, sur la longueur du pendule, et sur les rapports qui lient l'Astronomie avec la navigation.

Ces différens ouvrages dont la plus grande partie est écrite en latin, sont le fruit de 40 ans de travaux; ils avoient

été la plupart composés pour les exercices publics du Collége romain, imprimés séparément dans les actes de Leipsick, dans les mémoires de Lucques, de Bologne, et parmi ceux des savans étrangers publiés par l'Académie des Sciences de Paris. Ils ont été enfin recueillis par l'auteur lui-même, qui les a perfectionnés et fait imprimer à Bassano. Les ouvrages de Boscovich jouissent parmi les savans d'une estime générale; ils ont contribué les premiers à répandre en Italie le goût de la saine Physique et les nouvelles méthodes géométriques.

Un ouvrage qui paroît avoir quelque rapport avec le recueil de Boscovich, est le *Traité Analytique des mouvemens apparens des Corps célestes* de Dionis Duséjour, dont le premier volume a paru en 1786, et le second en 1789. Cet ouvrage est également formé d'une collection de Mémoires imprimés à diverses époques parmi ceux de l'Académie des Sciences de Paris; mais l'auteur a trouvé le moyen de les ramener à la solution générale des deux problèmes suivans :

Etant supposés deux Corps en mouvement dans l'espace, suivant des lois connues, déterminer les apparences qui résultent des mouvemens relatifs de ces deux corps, par rapport à un observateur qui, transporté lui-même dans l'espace, suivant une loi donnée, a de plus un mouvement de rotation autour d'un axe donné de position.

Etant donnés les mouvemens apparens de ces corps, déterminer les lois de leurs mouvemens réels.

C'est à la solution de ces deux problèmes que l'auteur a rapporté toutes les questions relatives aux éclipses de soleil et de lune, aux occultations des étoiles, aux passages de Vénus et de Mercure sur le soleil, aux paral-

laxes, aux apparitions et disparitions de l'anneau de Saturne, aux mouvemens des comètes.

Dans tous les problèmes qu'il a résolus, il a toujours substitué les méthodes analytiques aux solutions trigonométriques. Il a rendu ses formules intéressantes par les applications; c'est par elles qu'il a déterminé les lieux où doivent être observés les passages de Vénus de 1874 et de 1882. D'après ses calculs, nous pouvons savoir aujourd'hui, c'est-à-dire, plus de soixante ans avant l'apparition des phénomènes, que les astronomes pourront observer le passage de la première époque dans le nord de la Suède, au cap de Bonne-Espérance, sur les côtes orientales et méridionales de la Tartarie russe et sur celles de la Zélande; qu'ils pourront encore observer le passage de la seconde époque au cap de Bonne-Espérance; mais qu'ils pourront choisir aussi comme stations favorables à leurs observations, la Californie, la Nouvelle-Espagne et les îles de la Sonde.

Il a fait encore plusieurs applications importantes à différens points du Système du Monde, aux apparitions et disparitions de l'anneau de Saturne, qu'il a calculées par rapport à la terre et même par rapport aux autres planètes, à la parallaxe moyenne du soleil qu'il a trouvée d'environ sept dixièmes de seconde plus grande, en la déduisant de la parallaxe de Mars, que celle qu'il avoit conclue des passages de Vénus; mais nous ne devons pas dissimuler que ses formules généralement trop compliquées, ont été rarement employées par les astronomes.

L'analyse étoit depuis long-temps appliquée à l'Astro-

nomie ; déjà souvent, depuis Newton, Euler, Clairaut et d'Alembert en avoient présenté l'exemple, mais sur des problèmes isolés. Duséjour a le premier, en suivant leur méthode, embrassé l'ensemble des mouvemens célestes, et préparé l'alliance de la Géométrie et de l'Astronomie, alliance resserrée depuis, plus étroitement par un ouvrage supérieur à celui dont il est ici question.

La révolution qui s'étoit opérée dans la recherche des phénomènes célestes, ne tarda pas à faire sentir son influence dans l'instruction publique. Le Collége de France surtout ne pouvoit rester en arrière ; il devoit être à la hauteur des nouvelles méthodes géométriques. Cousin, de l'Académie des Sciences les introduisit dans cette école célèbre ; ses leçons furent rédigées dans cet esprit et publiées, en 1787, sous le titre d'*Introduction à l'étude de l'Astronomie physique*. Il rassembla dans son ouvrage les découvertes éparses des plus grands géomètres modernes, essaya d'en former un ensemble dont il lia les diverses parties au moyen de quelques principes généraux.

Depuis 1787, l'Astronomie s'est encore avancée sur les pas de la Géométrie. L'enseignement du Collége de France, qui doit toujours s'élever en raison des progrès de la science, demandoit un ouvrage plus complet qui présentât toutes les théories, sous un même point de vue et d'après les meilleures méthodes. M. Biot chargé, depuis Cousin, de l'enseignement de l'Astronomie physique, a donc cru devoir choisir le texte de ses leçons dans la *Mécanique céleste*.

L'année 1787 nous présente un ouvrage astronomique remarquable par un grand nombre de recherches savantes

vantes et le système adopté par son auteur; c'est le *Traité de l'Astronomie Indienne et Orientale*, par Bailly.

Les connaissances que nous avons maintenant en Europe sur l'Astronomie indienne, nous ont été rapportées de l'Inde, vers la fin du dix-septième siècle, par Laloubère, ambassadeur de France à Siam, par le Gentil en 1772. Nous possédons de plus des tables indiennes communiquées à de L'isle par des missionnaires des Indes Orientales. L'objet que Bailly s'était proposé dans ses recherches, est l'ancienneté qui doit être attribuée à ces tables.

Il a distingué dans les tables indiennes deux époques principales, dont l'une remonte à l'année 3102 avant l'ère vulgaire et l'autre à l'année 1491 de cette ère. Il s'est attaché à prouver qu'elles ont été construites vers la première des deux époques. Il a principalement fondé son opinion sur ce que les anciens en général et les Indiens en particulier n'ont jamais calculé et par conséquent observé que les éclipses, qu'il ne s'en trouve point à l'époque de 1491, et que celle de 3102 est accompagnée d'une éclipse.

L'auteur appuie encore l'existence de l'Astronomie indienne à cette époque reculée, sur un grand nombre d'autres preuves. Cependant cette existence a toujours paru fort douteuse. Comme la première époque suppose la conjonction de toutes les planètes, M. Laplace pense qu'elle n'a été imaginée que pour donner dans le zodiaque une commune origine aux mouvemens des corps célestes. Il observe que les dernières tables astronomiques, perfectionnées par la théorie et les observations, ne permettent pas d'admettre la conjonction supposée, que les tables indiennes présentent aussi sur les planètes de

Mars et de Jupiter des élémens très-différens de ce qu'ils devoient être à l'époque de 3102, que les moyens mouvemens qu'elles assignent à la lune par rapport à son périgée, à ses nœuds et au soleil, étant plus rapides qu'ils n'étoient du temps de Ptolémée, ils paroissent indiquer qu'elles ont été construites ou du moins rectifiées dans des temps modernes.

Si les savans ne partagent point l'opinion de l'auteur de l'Astronomie indienne, ils rendent justice à ses talens et conviennent généralement que son ouvrage ne pouvoit être que le résultat d'une érudition profonde, soutenue des plus hautes connoissances astronomiques.

En 1792 parut la troisième édition de l'*Astronomie de Lalande*. Ce grand ouvrage connu dans toute l'Europe, est presque devenu le répertoire commun de tous les astronomes, par le grand nombre de faits intéressans qu'il renferme. Il n'est point à la vérité enrichi des brillantes méthodes de l'analyse ; il ne porte point avec lui le caractère des ouvrages astronomiques des grands géomètres modernes ; mais il est à la portée d'un plus grand nombre de lecteurs, et les plus savans mêmes y peuvent trouver de quoi s'instruire. S'il n'a point avancé la science, il l'a beaucoup répandue ; il en a marqué les progrès par les additions faites dans les éditions qui se sont succédées depuis 1764. On lui reproche de manquer d'ordre et de méthode, et cependant il a formé un grand nombre d'excellens astronomes ; il est probable au reste que, malgré ses défauts, cet ouvrage sera long-temps consulté comme le tableau fidèle de l'état de l'Astronomie vers le milieu du dix-huitième siècle, ainsi que l'est encore aujourd'hui l'Almageste de Ptolomée par les savans qui

desirent connoître l'état de l'Astronomie ancienne au temps de cet astronome.

L'Angleterre et l'Allemagne possèdent encore deux ouvrages propres à répandre l'étude de l'Astronomie. Le premier, publié à Londres par M. Vince en 1797, le second à Pétersbourg, par M. Schubert en 1798. L'ouvrage de M. Vince, qui se rapproche beaucoup de celui de Lalande, paroît spécialement destiné aux astronomes; il contient un grand nombre de petites tables à leur usage. Celui de M. Schubert qui mériteroit d'être plus généralement connu, paroît plutôt dirigé vers la théorie que vers la pratique de l'Astronomie. Il renferme un grand nombre de formules très-élégantes appliquées par l'auteur aux principaux phénomènes célestes, et les perturbations des planètes calculées d'après les nouvelles méthodes.

Il seroit à desirer que la science s'enrichît en France des productions étrangères qui méritent d'être distinguées, et surtout des ouvrages écrits en allemand, langue peu cultivée parmi les savans Français.

Si nous n'eussions déjà essayé de donner dans cette Histoire, une idée de la *Mécanique céleste*, nous aurions beaucoup à dire sur l'*Exposition du Système du Monde*, ouvrage du même auteur; mais c'est le même fonds, ce sont les mêmes principes que l'on trouve dans ce dernier qui pourroit être regardé comme le discours préliminaire de la Mécanique céleste.

Lorsqu'il parut pour la première fois en 1796, il fut recherché avec empressement des savans auxquels il présentoit les résultats les plus importans de la Physique céleste, des gens du monde qui, le voyant dégagé de

cet appareil de calcul dont s'effarouche le commun des lecteurs, crurent n'avoir besoin que de le lire pour l'entendre; ils étoient entraînés a sa lecture par la grande correction du style; mais ils s'apperçurent bientôt qu'il supposoit des connaissances très-élevées, et restèrent persuadés que si M. Laplace avoit le talent de présenter les phénomènes célestes sous les formes du langage ordinaire, il n'en conservoit pas moins toute la profondeur du grand géomètre.

Cependant l'Exposition du Système du monde acquit à son auteur la réputation d'un excellent écrivain; le précis de l'Histoire de l'Astronomie qui la termine est remarquable par une élégante précision. Il a le mérite très-rare d'être riche par le fonds et de donner moins à lire qu'à méditer.

Les changemens importans que M. Laplace a faits à son ouvrage depuis 1796, l'ont encore beaucoup perfectionné et rendent sa troisième édition, qui paroît depuis 1808, de beaucoup supérieure aux deux premières.

Un ouvrage dans lequel les phénomènes célestes sont exposés dans le même esprit et d'après les mêmes principes que le précédent, est celui que M. Biot a publié en 1805, pour l'enseignement des lycées, sous le titre de *Traité Elémentaire d'Astronomie physique*; mais M. Biot, quoique pénétré des mêmes idées, avoit à suivre une méthode différente; il composoit son ouvrage pour des jeunes gens qui n'étoient supposés avoir aucune notion d Astronomie. M. Laplace écrivoit le sien pour les savans; sa marche pouvoit être plus rapide; celle de M. Biot devoit être nécessairement plus lente; il avoit à combattre dans l'élève qu'il se proposoit d'instruire, les illusions des sens; il devoit le conduire par degrés des appa-

rences des mouvemens célestes au véritable Système du monde. L'objet qu'il avoit à remplir demandoit beaucoup d'ordre et de clarté, et c'est par ces deux qualités essentielles à tout ouvrage classique, que se distingue celui de M. Biot. D'après la méthode qu'il a suivie, il a su conduire son élève, des notions les plus simples jusqu'au terme où se présentent les ouvrages des grands géomètres sur la Physique céleste.

M. Biot doit publier incessamment une seconde édition de son ouvrage auquel il a fait des additions considérables qui ne peuvent manquer de le perfectionner; il doit être surtout augmenté d'un supplément utile sur l'Astronomie nautique par M. de Rossel ancien navigateur, aujourd'hui membre du Bureau des longitudes.

A ses travaux pour l'enseignement, M. Biot vient d'ajouter un ouvrage fait plus particulièrement pour les savans; c'est une Théorie Mathématique sur les réfractions extraordinaires qui s'observent très-près de l'horizon, sur les images directes et renversées qu'envoient dans diverses circonstances les mêmes objets à l'œil de l'observateur (1). M. Biot s'est proposé d'expliquer dans sa théorie les rapports de position de ces diverses images et les mouvemens simultanés qu'on y remarque, lorsque les objets s'avancent ou s'éloignent; le problème présentoit de grandes difficultés, et sa solution ne pouvoit être tentée que par un géomètre qui possède toutes les ressources nécessaires pour bien analyser les phénomènes physiques.

---

(1) Le phénomène dont il est ici question est désigné par les marins sous le nom de *Mirage*, parce qu'il semble, lorsqu'il a lieu, que les objets se réfléchissent comme sur un miroir.

Recherches sur les Réfractions extraordinaires qui ont lieu près de l'horizon, par M. Biot.

Au nombre des Ouvrages astronomiques les plus remarquables, nous devons placer *la Base du Système métrique décimal*, rédigée par M. Delambre. Cet Ouvrage, ainsi que la méridienne à laquelle il est intimement lié, doit faire époque dans l'histoire des sciences; il est le monument conservateur de cette grande opération. Lorsque nos neveux la rappelleront à leur souvenir, ils verront avec intérêt que l'un des astronomes à qui l'exécution en a été confiée, en a donné lui-même tous les détails, qu'il est l'auteur de tous les calculs et de toutes les méthodes employées pour les effectuer. Ils verront également avec intérêt, qu'il a reçu un prix glorieux de son travail, en participant aux prix décennaux. Les suffrages de l'Institut ont jugé la Base du Système métrique décimal, digne de celui qui devoit être décerné *à l'application la plus heureuse des sciences mathématiques et physiques à la pratique.*

La découverte des nouvelles planètes vient de faire naître en Allemagne un Ouvrage qui doit fixer l'attention des astronomes et des géomètres, par le nom seul de son auteur. M. Gauss avoit imaginé des méthodes pour retrouver Cérès. Leur succès engagea plusieurs savans à les lui demander. Il crut alors devoir les examiner de nouveau et les perfectionner. En prenant sous sa main une forme très-différente de celle qu'elles avoient d'abord, elles ont donné naissance à la Théorie des mouvemens des corps célestes, qu'il a publiée en 1809.

L'auteur développe d'abord dans son Ouvrage les relations qui existent entre les quantités desquelles dépend le mouvement des planètes autour du soleil, et donne ensuite les moyens de déterminer une orbite par les

observations. Il comprend dans cette division générale un grand nombre de problèmes différens dont il donne des solutions très-ingénieuses, parmi lesquelles on en remarque une presqu'entièrement directe du fameux problème de Kepler, et qui peut s'étendre à la parabole ainsi qu'à l'hyperbole.

En donnant des éloges justement mérités aux talens supérieurs de M. Gauss, on lui reproche d'avoir recours à l'analyse, sans nécessité, de négliger des méthodes qui pourroient le conduire plus facilement au même but; mais les succès constans obtenus par l'analyse rendent bien légitime la préférence marquée que lui donnent aujourd'hui presque tous les géomètres.

L'Ouvrage de M. Gauss est écrit en latin et paroît sous ce titre : *Motus corporum cœlestium in sectionibus conicis solem ambientium.* On peut prendre une juste idée de cet important Ouvrage, d'après l'examen détaillé qu'en a fait M. Delambre dans *la Connoissance des Temps* de l'année 1812. Personne n'est plus à portée de connoître les meilleures méthodes de calcul que celui qui les met chaque jour à l'épreuve.

Il ne nous reste plus maintenant qu'à rappeler les noms et les principaux titres de gloire de quelques hommes célèbres enlevés à l'Astronomie depuis 1781.

L'une des premières pertes qu'elle ait faites depuis cette époque, est celle de Léonard Euler, né à Bâle, le 15 avril 1707, et mort à Pétersbourg le 7 septembre 1783, après avoir joui pendant plus d'un demi-siècle des honneurs et de la célébrité que méritoit la grandeur de son génie. Il avoit embrassé dans sa vaste pensée, l'ensemble de toutes les connoissances mathématiques; il en avoit perfectionné les parties les plus élevées. L'Astro-

nomie lui doit l'application de l'analyse aux principaux phénomènes célestes, une solution du problème des trois corps, des recherches sur le flux et le reflux de la mer, sur les variations de l'obliquité de l'écliptique, sur les perturbations de Jupiter et de Saturne. Elle lui doit une théorie de la lune, dont l'Académie des Sciences de Pétersbourg a fait inscrire les formules dans une table allégorique représentant la géométrie appuyée sur une planche de calculs.

Le génie d'Euler le portoit principalement vers l'analyse. L'application qu'il en faisoit aux questions les plus compliquées de l'Astronomie, n'étoit pour lui que des occasions d'en développer les ressources et des moyens de la perfectionner.

Une perte semblable à la précédente est celle de Jean Lerond d'Alembert, mort le 29 octobre 1783. Les travaux de cet homme célèbre furent à peu près du même genre que ceux d'Euler. Il embrassa, comme lui, les sciences mathématiques dans toute leur étendue, et leur fit faire dans plusieurs parties des progrès marqués. Il s'ouvrit des routes nouvelles dans le calcul infinitésimal, et prépara une révolution dans la Mécanique, en ramenant les lois du mouvement à celles de l'équilibre. Les applications qu'il fit de l'analyse aux phénomènes astronomiques n'étoient pas moins brillantes que celles d'Euler. Il donna, comme lui, à peu près dans le même temps une solution du problème des trois corps; mais il n'eut aucun rival dans celle du problème de la précession des équinoxes, que Newton n'avoit qu'ébauchée. Ce sont là les titres qui doivent dans tous les temps placer d'Alembert au rang des plus grands géomètres.

La

La fin de l'année 1783 fut encore marquée par la perte de Pierre Wargentin, secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences de Stockolm. La réputation de cet astronome parmi les savans, est fondée principalement sur ses tables des satellites de Jupiter publiées en 1746. Elles ont été construites d'après la recherche qu'il a faite empiriquement des équations qui pouvoient entrer dans leurs mouvemens. Elles ont eu l'avantage d'être les plus utiles aux navigateurs jusqu'au moment où la théorie de M. Laplace a servi de fondement à celles de M. Delambre qui les ont remplacées.

En 1784, est mort César François Cassini de Thury, troisième astronome de ce nom. Il a partagé les travaux de la méridienne vérifiée, d'abord avec son père Jacques Cassini, ensuite avec Lacaille. Il a terminé la grande carte de France, malgré tous les obstacles qu'il a trouvés dans son exécution. Il est l'auteur du projet de la jonction des Observatoires de Paris et de Greenwich, qu'il eut la satisfaction de voir approuvé par la Société Royale de Londres peu de temps avant sa mort.

Au commencement de 1790, mourut près de Genève, Jacques-André Mallet Favre, correspondant de l'Académie des Sciences de Paris, de celle de Pétersbourg et de la Société Royale de Londres. Il manifesta de bonne heure un goût décidé pour les sciences et surtout pour l'Astronomie. Ce goût se fortifia par le commerce des hommes qu'il fréquenta dans sa jeunesse. Il eût pour compagnon d'étude le célèbre Saussure, et pour maître Daniel Bernoulli. En 1768, il fut proposé par Lalande à l'Académie de Pétersbourg, pour faire l'observation du

passage de Vénus à Ponoi près d'Archangel, vers la mer glaciale. Il fit ce voyage avec Jean-Louis Pictet, qui devint depuis son beau-frère, séjourna quatre mois dans le plus affreux climat, et ne recueillit qu'en partie le fruit de ses rudes fatigues; il ne vit que l'entrée de Vénus sur le soleil.

De retour à Genève sa patrie, il y fit bâtir à ses frais un Observatoire et s'y livra aux observations. Les témoignages qu'il a laissés après lui de son amour pour l'Astronomie, sont la fondation d'une chaire pour l'enseignement de cette science, une méridienne du temps moyen, une carte exacte du lac Léman, beaucoup d'observations sur les planètes et les satellites et des tables de Saturne.

En 1792 les astronomes eurent à regretter la perte de Maximilien Hell, né le 15 mai 1720 à Schemnitz en Hongrie. Il est connu principalement par *le succès complet* de son observation faite à Wardhus dans la Norwège pour le passage de Vénus sur le soleil, par les éphémérides de Vienne, qu'il a rédigées depuis 1757 jusqu'à 1792, et par plusieurs autres ouvrages astronomiques.

En parcourant les contrées du nord de l'Europe jusqu'au-delà du soixante-dixième degré de latitude, ses travaux ne se bornèrent pas à l'observation du passage de Vénus; les marées, les vents, la température, les hauteurs des montagnes, la pente des fleuves, en un mot, tout ce que présentent d'extraordinaire ces régions rarement visitées par les savans, devint l'objet de ses recherches.

Un digne successeur a remplacé Maximilien Hell, c'est M. Triesneker, auteur d'un travail important sur les longitudes de différens points de la terre déterminés

d'après les calculs de toutes les éclipses du soleil et des étoiles, observées depuis 1747. Les éphémérides de Vienne sont continuées avec succès par cet habile astronome.

Dans la même année 1792, mourut encore Legentil, né à Coutances le 11 septembre 1725. Il avoit été pendant quelques années, le collaborateur de Jacques Cassini pour la carte de France et les observations astronomiques. Il joignoit au talent de l'observateur, des connoissances très-variées dont il a donné des preuves dans un grand nombre de Mémoires publiés parmi ceux de l'Académie des Sciences.

En 1760, il partit pour la Côte de Coromandel, afin d'observer le passage de Vénus de 1761; la guerre l'empêcha d'arriver jusqu'à Pondichery, lieu désigné pour l'observation; il attendit dans l'Inde le passage de 1769 et la vue du phénomène lui fut dérobée par les nuages.

Si le sort deux fois contraire à ses desseins, ne lui permit pas d'atteindre le but qu'il s'étoit proposé, il ne voulut pas que son voyage fût inutile aux Sciences. Il parcourut diverses contrées de l'Inde depuis Madagascar jusqu'à Manille, il étudia l'Astronomie des Brames, fit des observations importantes sur les réfractions de la Zône Torride, sur la lumière de la Mer, sur la déclinaison de l'aimant et son inclinaison, et compensa en quelque sorte, par la moisson abondante qu'il rapporta de ces contrées éloignées, la perte d'une observation que le ciel ne devoit plus lui présenter.

Tous les savans dont nous venons de parler, ont attendu tranquillement la fin de leur honorable carrière;

il n'en est pas de même de celui qui fait le sujet de la notice suivante. Jean-Sylvain Bailly, que sa renommée avoit arraché du sein de sa retraite et jeté sur la scène du monde, agitée de toutes les tempêtes politiques, fut condamné à mort par un tribunal de sang le 11 novembre 1793. Ses talens élevés ne désarmèrent ni ses juges ni ses bourreaux; les apprêts de son supplice furent prolongés avec une atroce barbarie. Il mourut avec le calme du sage, au milieu des emportemens d'une populace effrénée.

Il avoit obtenu toutes les distinctions littéraires; il étoit des trois grandes Académies de Paris, honneur dont il avoit joui seul depuis Fontenelle. Il avoit bien mérité de l'Astronomie par son Histoire de cette science, par son Traité sur l'Astronomie indienne, par la réduction qu'il avoit faite des observations de Lacaille sur les étoiles zodiacales, par ses Essais sur la Théorie des satellites de Jupiter, qui précédèrent les recherches faites depuis par nos deux plus grands géomètres, sur cette partie importante et difficile du Système du monde. Dans tous les ouvrages qu'il a publiés, il a toujours su répandre cet intérêt qui peut naître de la science embellie de tous les charmes d'un style brillant.

Nous pouvons compter encore au nombre des pertes de l'Astronomie, deux magistrats qui lui consacrèrent tous leurs loisirs, le président Saron et Dionis Duséjour; le premier, mort sur l'échafaud, victime de la tyrannie révolutionnaire, le 20 avril 1794; le second, mort à Angerville, près de Fontainebleau, le 22 août de la même année.

L'étude de l'Astronomie avoit un grand attrait pour le

président Saron; il se plaisoit surtout à calculer les orbites des comètes; c'est sans doute par une suite de l'habitude qu'il avoit acquise dans ces sortes de calculs, qu'il découvrit le premier que les observations d'Uranus ne pouvoient être représentées dans une parabole.

Il n'épargnoit rien pour l'acquisition des meilleurs instrumens qu'il laissoit à la disposition des astronomes qui savoient en faire usage. Il aimoit la société des savans et cherchoit souvent à les réunir.

Ce qui fera toujours honneur aux talens de Dionis-Duséjour, ce sont les nombreuses applications qu'il a faites de l'analyse aux phénomènes les plus remarquables du Système du monde, et dont les résultats intéressent également les astronomes et les géomètres.

Le premier mars 1796, est mort à l'âge de près de 85 ans, Alexandre Gui Pingré, savant dont les nombreux travaux recommandent le souvenir à la postérité. Il étoit âgé de 38 ans, lorsque le célèbre chirurgien Lecat l'arracha aux persécutions que lui faisoient éprouver des querelles théologiques, et dirigea ses talens vers l'étude des sciences. Il se livra bientôt tout entier à l'Astronomie. Il se fit connoître en 1753 par une observation du passage de Mercure sur le soleil, en 1754 par un *Etat du Ciel à l'usage de la Marine*, ouvrage qui lui fut suggéré par Lemonnier, et lui donna la réputation d'un habile calculateur. En 1766, il refit les calculs des éclipses de 19 siècles, qu'avoit déjà faits Lacaille pour le fameux ouvrage de l'*Art de vérifier les dates*, auxquels il ajouta ceux des éclipses de dix siècles avant l'ère vulgaire.

Quoique Pingré fût porté par inclination vers les occupations sédentaires du calculateur, il ne craignit point

cependant de s'arracher trois fois du sein de sa retraite, pour aller dans des contrées éloignées observer le passage de Vénus sur le soleil, et faire des épreuves comparatives des montres marines de Berthoud et de Leroy. Les comètes sont devenues ensuite l'objet principal de ses savantes recherches. Il en a calculé lui seul, dit Lalande, plus que tous les autres astronomes ensemble pendant le même temps. A l'âge de quatre-vingts ans, il mit la dernière main à l'*Histoire de l'Astronomie pendant le dix-septième siècle*.

La multitude de ses travaux étonne, si l'on observe qu'il les a commencés à l'âge où d'autres savans ont déjà parcouru dans les Sciences la plus grande partie de leur carrière. Il est mort environné de la vénération de ses contemporains, qu'il avoit inspirée autant par ses vertus que par les talens qui l'ont rendu digne de vivre longtemps dans la mémoire des hommes.

Nous ne devons point ici passer sous silence la perte d'un savant qui dans trois carrières différentes a laissé des traces d'un talent créateur, de Jean Charles Borda, de l'Académie des Sciences, mort le 19 Février 1799.

Le génie militaire lui doit une théorie des projectiles, dans laquelle il a considéré les corps, non dans le vide, mais tels qu'ils se meuvent à la surface de la terre, c'est-à-dire en ayant égard à la résistance de l'air.

La marine dans laquelle il fut élevé à des grades supérieurs, lui doit une Théorie de la résistance des fluides, qu'il a fondée sur l'expérience; elle lui doit dans les constructions navales, une nouvelle perfection, nécessaire à l'accord des mouvemens et de l'exécution des signaux.

Mais ce qu'il a fait pour l'Astronomie est peut-être encore plus remarquable. Le cercle répétiteur qu'il a créé de nouveau, les appareils dont il a fait usage pour mesurer avec plus de précision la longueur du pendule, les règles de platine et leurs thermomètres métalliques sont des inventions qui doivent durer tant que les hommes s'occuperont de la mesure de la terre.

Il n'est aucun objet dont Borda se soit occupé, sur lequel il n'ait porté ce coup-d'œil de l'homme supérieur qui crée ou perfectionne. Ses inventions qui montroient en lui une grande pénétration, ont cependant le caractère de la simplicité, et, ce qui doit lui mériter le plus grand éloge, c'est que dans ses recherches il fut toujours porté vers celles qui lui présentoient un but d'utilité réelle.

Dans la même année 1799, mourut encore Pierre-Charles Lemonnier de l'Académie des sciences, né à Paris le 23 novembre 1715. Pendant sa longue carrière, il avoit été, pour ainsi dire, l'ame de l'Astronomie en France. Il lui avoit fait par ses conseils et ses leçons de nombreux prosélytes; c'est à lui que nous devons les travaux de deux astronomes célèbres, Lalande et Pingré.

A l'âge de 21 ans il fut choisi pour l'un des coopérateurs de Maupertuis dans la mesure du degré terrestre vers le cercle polaire. A l'époque où les erreurs du grand catalogue de Flamsteed commencèrent à se manifester, il entreprit de déterminer de nouveau les positions des étoiles zodiacales, comme étant les plus utiles aux astronomes. En 1743, il traça à St.-Sulpice une grande méridienne, pour y suivre la marche du soleil, et recon-

noître les petites variations de l'obliquité de l'écliptique. En 1746, il détermina, d'après un grand nombre d'observations, les grandes inégalités de Saturne, produites par l'action de Jupiter, et son travail servit de fondement au mémoire d'Euler, qui remporta sur ce sujet le prix de l'Académie des Sciences en 1748. Vers le même temps, il publia ses *Institutions Astronomiques*, ouvrage qui fut d'autant plus utile qu'il étoit alors le seul en France où l'on pût trouver les premières notions de l'Astronomie. S'étant proposé de déterminer les erreurs des tables de la lune, il dirigea constamment ses travaux vers ce satellite qu'il observa avec assiduité pendant une période entière de dix-huit ans, au bout de laquelle les mêmes erreurs doivent se reproduire. Lemonnier étoit naturellement porté à l'observation, et c'est par lui que l'on a vu commencer en France une amélioration sensible dans cette partie de l'Astronomie.

Si la perte de l'homme distingué par son mérite doit exciter des regrets, c'est surtout lorsque la mort le surprend au milieu de ses travaux les plus importans. C'est ainsi que Méchain fut enlevé à l'Astronomie le 20 septembre 1804. Il est mort au moment où son projet chéri de la prolongation de la méridienne, commençoit à s'exécuter; il est mort sans en voir le terme, l'objet de ses vœux les plus ardens.

Cependant les travaux qui nous restent de lui, suffisent pour donner une grande idée de ses talens. Il a laissé peu d'écrits, mais beaucoup d'observations et de calculs, genre de travail dans lequel il excelloit. Il fut le coopérateur de MM. Legendre et Cassini dans la jonction des Observatoires de Paris et de Greenwich, le collègue

Collègue de M. Delambre dans la plus belle opération que l'on ait exécutée sur la mesure de la terre; mais nous ne devons pas oublier qu'il fut aussi le rival de M. Messier dans la recherche des comètes, l'émule de Pingré dans le calcul de leurs orbites, qu'en dix-huit ans il en a découvert onze, et déterminé les orbites de vingt-quatre. Nous ne devons pas oublier que les portes de l'Académie des Sciences lui furent ouvertes à la suite du prix qu'il avoit remporté sur la question de l'identité des deux comètes que l'on avoit observées en 1532 et 1661.

Aucun repos n'a précédé la fin de sa vie active et laborieuse; il est mort à Castellon-de-la-Plana, dans le royaume de Valence, pour n'avoir voulu donner aucune interruption aux travaux qu'il avait commencés.

Pour terminer ces notices, il ne me reste plus qu'à dire un mot de la perte d'un savant, dont le nom généralement connu sera souvent rappelé parmi les astronomes, je veux dire, de Joseph-Jérôme Le Français Lalande, mort à Paris le 4 avril 1807, à l'âge de 75 ans. Je n'entreprendrai point de faire l'énumération de ses travaux; ils ont embrassé la Science toute entière à laquelle il s'étoit consacré, il en a parcouru les diverses parties dans plus de cent cinquante mémoires parmi lesquels on distingue ceux qu'il a donnés sur la rotation du Soleil et la longueur de l'année; mais les objets dont il s'est le plus occupé durant sa carrière astronomique, ce sont les Théories de Mercure, de Mars et de Vénus, c'est son *Astronomie* dans laquelle il a renfermé le précis et les résultats de ses nombreux travaux.

Il ne suffisoit point à l'activité prodigieuse de cet astronome de s'occuper lui-même de la science qui lui étoit

chère, il brûloit encore du desir de la répandre. Il auroit voulu la mettre à la portée de tous les esprits et multiplier partout les amis de l'Astronomie. Le zèle ardent qui lui fait de nouveaux prosélytes peut souvent servir à ses progrès autant que des découvertes. Lalande étoit l'ouvrage de Lemonnier, et c'est à Lalande que nous devons Méchain et M. Delambre. Il avoit aussi formé d'Agelet, le compagnon d'infortune de la Peyrouse.

C'est encore par cet amour de l'Astronomie qu'il a fondé en 1802 un prix annuel pour l'observation la plus curieuse ou l'ouvrage le plus utile à la Science. Aucun sacrifice ne lui coûtoit pour elle et pour la renommée dont il faisoit son idole. Il eut un très-grand mérite auquel répondoit une réputation qui lui donna beaucoup d'envieux et de détracteurs. Cependant il fut constamment heureux. Les éloges de ses admirateurs le consoloient des satires de ses ennemis. Il a joui d'un honneur que n'ont eu ni Copernic ni Galilée. Dans un voyage qu'il fit à Gotha en 1798, il y reçut les hommages des plus grands astronomes d'Allemagne qui vinrent de toutes parts le visiter.

Nous venons de donner une idée des travaux différens qui doivent illustrer aux yeux des astronomes et des géomètres, les dernières années du siècle passé et les premières de celui où nous vivons. Nous avons exposé les titres de gloire de cette période intéressante. La Mécanique céleste qu'elle a vu naître, la découverte des cinq nouvelles planètes, des deux nouveaux satellites de Saturne, de ceux d'Uranus, la nouvelle mesure de la méridienne, la rendront à jamais mémorable et l'assimileront dans

les âges futurs aux siècles les plus brillans de l'Astronomie; elle est surtout remarquable par l'influence de l'analyse dans les découvertes par le développement des lois de la gravitation dont les effets se sont toujours manifestés aux yeux de la Géométrie dans les diverses modifications de la nature et même dans ses écarts, par la précision des calculs et des observations, par l'exactitude apportée dans les grandes mesures terrestres, et cependant cette période si féconde ne comprend guère au-delà de la quatrième partie d'un siècle. Les trente années qui vont la suivre, seront-elles marquées par une égale fécondité? cette question ne présente aucune donnée qui puisse servir à la résoudre. L'esprit humain ne suit point dans ses productions une marche uniforme et constante; les circonstances des temps sont plus ou moins favorables au génie; tantôt ses ouvrages s'accumulent avec rapidité, tantôt un long repos succède à ses plus grands efforts. D'ailleurs plus on avance dans la carrière des sciences, plus les pas sont difficiles. Les limites que l'homme ne sauroit franchir s'annoncent de loin par les obstacles qui se multiplient sur sa route.

L'héritage que laissent nos contemporains à leurs successeurs sera sans doute agrandi par de nouvelles conquêtes. Plusieurs se présentent encore à l'Astronomie future; mais toutes ne sont pas également faciles. Il en est que l'on peut prévoir avec quelque certitude, d'autres dont l'impossibilité est presque démontrée. Les mesures de la terre peuvent être multipliées et nous faire connoître de plus en plus les irrégularités de sa figure et les variations de la pesanteur à sa surface; les révolutions d'un plus grand nombre de comètes peuvent être re-

connues et leurs retours annoncés; les observations peuvent fournir de nouvelles lumières sur les grandes inégalités séculaires et servir à déterminer avec plus de précision leurs quantités et leur période.

Il est encore possible que, par une nouvelle augmentation de la puissance du télescope, l'organe de la vue pénètre plus avant dans les régions célestes, que de nouveaux astres soient découverts, que les incertitudes qui restent encore sur les mouvemens de rotation de quelques planètes soient dissipées, que la Théorie des satellites de Saturne et d'Uranus soit perfectionnée et la nomenclature des étoiles encore plus détaillée.

Mais est-il également certain que pour trouver le point précis où réside la vérité dans le calcul des phénomènes, les géomètres futurs puissent découvrir une méthode générale d'intégration? peut-être les approximations seules sont-elles réservées à notre faiblesse? est-il également certain que nos neveux puissent mesurer la distance des étoiles, déterminer le mouvement du système solaire, l'orbe du soleil, celui du centre de gravité du groupe étoilé dont il fait partie? Les connoissances qui n'ont que l'infini pour objet et dans l'espace et dans l'entendement, paroissent devoir être au-dessus de toutes les forces de l'intelligence humaine. Cependant comme l'étendue de ses facultés nous est cachée, il ne nous est permis ni d'entrevoir, ni d'assigner les bornes de sa puissance. Souvent des siècles heureux par le génie, surpassent les espérances de ceux qui les ont précédés. Hipparque, Ptolémée avoient-ils quelque idée de ce qu'ont fait si long-temps après eux Kepler, Galilée, Newton et ses successeurs?

Peut-être des découvertes inattendues grossiront un jour les fastes de l'Astronomie; mais en attendant que de nouvelles richesses s'ajoutent à celles que nous possédons, j'ai tenté de faire connoître celles que notre âge a produites, persuadé que la période actuelle est assez abondante pour mériter l'attention des hommes qui s'intéressent aux progrès des sciences. Puissé-je aux yeux de ceux de mes contemporains dont j'ai décrit les travaux, n'avoir pas été tout-à-fait au-dessous de mon sujet!

FIN.

TABLE GÉNÉRALE

DES MATIÈRES.

A

B

I

J

L

M

N

O

T

U

V

W

X

Z

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

